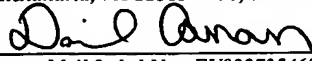


PATENT APPLICATION COVER SHEET
Attorney Docket No. 1117.68737

I hereby certify that this paper is being deposited with the United States Postal Service as EXPRESS MAIL in an envelope addressed to: Mail Stop PATENT APPLICATION, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on this date.

Nov. 17, 2003
Date


Express Mail Label No.: EV032735462US

LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE

INVENTORS:

Kunihiro TASHIRO
Katsufumi OHMURO
Norio SUGIURA
Hidefumi YOSHIDA

GREER, BURNS & CRAIN, LTD.
300 South Wacker Drive
Suite 2500
Chicago, Illinois 60606
Telephone: 312.360.0080
Facsimile: 312.360.9315
CUSTOMER NO. 24978

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
APPLICATION FOR LETTERS PATENT

Title : LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE

Inventor(s) : Kunihiro TASHIRO
Katsufumi OHMURO
Norio SUGIURA
Hidefumi YOSHIDA

発明の名称： 液晶表示装置

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application is based upon and claims the benefit of priority from the prior Japanese Patent Application No. 2002-332601, filed on November 15, 2002, the entire contents of which are incorporated herein by reference.

【発明の背景】 (Background of the Invention)

【発明の分野】 (Field of the Invention)

本発明は、携帯端末等の低消費電力機器に用いられる反射型の液晶表示装置に関する。

【関連技術の説明】 (Description of the Related Art)

反射型液晶表示装置は室内照明や太陽光のような環境光を取り込み、反射板で観測者側に反射させて表示を行っている。この反射型液晶表示装置は、バックライトを必要としないため低消費電力であり、携帯端末やPDA等に広く用いられている。

このように反射型液晶表示装置は、環境光を利用して表示を行うために低消費電力である反面、比較的コントラスト比や視野角等の表示特性に劣る傾向にある。そこで、表示特性の向上を図るため、以下のような対策が検討されている。

(対策1)

高いコントラスト比及び高い反射強度を実現可能なことから、垂直配向型液晶パネルを用いた反射型液晶表示装置が提案されている。ここでは、図45Aに示すように、垂直配向型液晶パネルの前面に $1/4$ 波長($\lambda/4$)板101を設置し、印加電圧オフで黒表示を行っている。

この $\lambda/4$ 板101については、その複屈折の波長分散を小さくするため、図45Bに示されるように、 $1/2$ 波長($\lambda/2$)板103と $\lambda/4$ 板104との2枚から構成する技術も提案されている。なお、図45A、Bでは便宜上、液晶パネルとして反射電極、液晶層及び透明電極のみを代表して図示する。

電圧無印加状態において液晶分子が略垂直に立っており、理想的な黒表示が実現できる。また、電圧印加状態において、実質的な液晶層の位相差が $\lambda/4$ になった時に白表示となる。この反射型液晶表示装置においては、視野角特性を向上させるため、液晶パネルと $\lambda/4$ 板101との間に負の位相差板102を設けることが有効である。

この負の位相差フィルムの存在により液晶層の位相差を補償している。

(対策2)

反射板で環境光を観測者側に反射させる場合、反射板を平滑な鏡面にすると正反射領域では明るく、それ以外の領域では暗くなるため視角依存が大きく、また正反射領域でも金属光沢のある表示になってしまう。そこで、反射板の表面に平面形状がドット状の凹凸を形成して反射光を拡散させることにより、視角依存が小さく、金属光沢のない表示を実現する技術（特許文献1参照）が知られている。

また、表示方式としては偏光板を1枚用いたねじれ（ツイステッド）ネマティック（TN）モード（特許文献2参照）が提案されている。TNモードは、正の誘電率異方性を有する液晶を水平方向にツイスト配向させたものであり、入射した環境光を偏光板で直線偏光に変え、電圧無印加では可視光波長の略1/4の位相差を有する位相差板と液晶層により偏光方位を180°回転させて白表示、電圧印加では可視光波長のほぼ1/4の位相差を有する位相差板により偏光方位を90°回転させて黒表示としている。

【特許文献1】

特開平6-175126号公報

【特許文献2】

特開平6-11711号公報

【特許文献3】

特開平11-311784号公報

【特許文献4】

特開昭60-256121号公報

【特許文献5】

特開昭62-210423号公報

【特許文献6】

英国特許第1,462,978号明細書

【特許文献7】

特開平10-153802号公報

【特許文献8】

特開2001-4999号公報

【特許文献9】

特開2000-35570号公報

【特許文献10】

特開2000-171788号公報

【特許文献11】

特開2001-154190号公報

【特許文献 1 2】

特開平 6-337421 号公報

【非特許文献 1】

テレビジョン学会誌 Vol.50, No.8, pp1091~1095, 1996

しかしながら、上述した表示特性向上の対策には、以下に示すような問題がある。

対策 1 の場合、負の位相差フィルムを作製するには、光学フィルムを 2 方向に延伸する、あるいは、特殊な光学物質を基体となるフィルム上に塗布するなど特殊なものであり、非常に高度の技術を要するために高価なものとなる。

この負の位相差フィルムを簡便に実現する手法が東北大学より提案されている。これは、所望の負の位相差と同一の面内位相差を持つ一軸延伸フィルムを直交させて積層することで作製される。しかしながら、この場合にはフィルム枚数が多くなり、ディスプレイが分厚くなる、あるいは高価なものになるという問題が生じる。

対策 2 の場合、TN モードでは電圧印加後も基板界面にアンカリングした液晶がスイッチングしないで残るため、黒輝度が浮いて十分なコントラスト比が得られない問題がある。表示の見やすさは明るさとコントラスト比で規定され、明るければ低いコントラスト比でも見やすく、暗ければ高いコントラスト比が要求される（非特許文献 1 参照）。反射型液晶表示装置では環境光を取り込み、反射板で観測者側に反射させて表示を行うために室内環境では暗く、コントラスト比が不十分となり表示が見難くなる。

コントラスト比を改善する手段として、位相差板の遅相軸を液晶層のアンカリング方位と略一致させ、残留した液晶層の位相差（残留リタデーション）分だけ位相差板の位相差を減ずることにより黒表示を補償する技術（特許文献 3 参照）が提案されている。しかしながら、液晶層の波長分散性は位相差板のそれよりも大きいため、黒表示が着色して十分なコントラスト比が得られなかったり、白表示では減じた位相差分だけ液晶層の位相差を大きくする必要があるため、同じコントラスト比を得るには駆動電圧を高くしなければならないという問題がある。

【発明の要約】 (Summary of the Invention)

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、表示特性の向上、即ち明るくコントラスト比が高いとともに、視野角が広く、視野依存が少ない表示を実現し、室内環境のように比較的暗い場所でも極めて見易い優れた反射型の液晶表示装置を提供することを目的とする。

本発明者は、鋭意検討の結果、以下に示す発明の諸態様に想到した。

本発明の液晶表示装置は、入射光を反射させる反射層と、前記反射層上に設けられた液晶層と、前記液晶層の前面に設けられた光学補償板とを含み、前記光学補償板は、前記液晶層に近い側から、第1の位相差板、第2の位相差板及び偏光板の積層構造を有してなり、前記第1及び第2の位相差板は、それぞれ一軸異方性を有しており、両者の重ね合わせにより $\lambda/4$ 板の機能と負の位相差板の機能とを合成的に生成する。

本発明の液晶表示装置は、入射光を反射させる反射層と、前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、前記液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板とを含み、前記反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略 4° 以上 9° 以下の値であるとともに、前記位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が $0.6 \sim 0.9$ の値である。

この場合、本発明の他の態様では、前記反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略 10° 以上 15° 以下の値であるとともに、前記位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が 0.4 以上 0.7 以下の値である。

この場合、本発明の他の態様では、前記反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略 7° 以上 9° 以下の値であるとともに、前記位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が 0.5 以上 0.8 以下の値である。

また、本発明の更に他の態様では、前記位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有しており、反射強度が極大となる方位 ϕ と前記偏光板の吸収軸 P とのなす角が略 65° 以上 90° 以下の値であり、当該位相差板の遅相軸 F_1 と吸収軸 P とのなす角が略 45° となるように配置されている。

また、本発明の更に他の態様では、前記位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有しており、反射強度が極大となる方位 ϕ と前記偏光板の吸収軸 P とのなす角が略 90° 以上 115° 以下の値であり、当該位相差板の遅相軸 F_1 と吸収軸 P とのなす角が略 135° となるように配置されている。

また、本発明の更に他の態様では、前記液晶層の液晶分子を、反射強度が極大となる方位 ϕ と当該液晶分子のダイレクタ方位 L とのなす角が略 45° 以上 90° 以下となるように配向させる。

本発明の液晶表示装置は、反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、前記液晶層の前面に順次設けられた $1/4$ 波長板、 $1/2$ 波長板及び偏光板とを含み、前記 $1/4$ 波長板及び前記 $1/2$ 波長板の各該当波長を異ならせて、反射強度が極大となる方位において斜め入射又は斜め出射により前記 $1/4$ 波長板、前記 $1/2$ 波長板及び前記液晶層により発生する位相差を、反射強度が極小となる方位の前記位相差よりも小さくする。ここで該当波長とは、 $\lambda/4$ 板又は $\lambda/2$ 板により $\lambda/4$ 又は $\lambda/2$ の位相差を発生する波長を示す。

本発明の他の態様では、前記 $1/4$ 波長板及び前記 $1/2$ 波長板の前記各該当波長を、 20 nm 以上 200 nm 以下の値で異ならせる。

また、本発明の更に他の態様では、前記 $1/4$ 波長板の前記該当波長を前記 $1/2$ 波長板の前記該当波長よりも小さくする。

また、本発明の更に他の態様では、前記液晶層と前記 $1/4$ 波長板との間に負の位相差板を有してなり、前記 $1/4$ 波長板の前記該当波長を前記 $1/2$ 波長板の前記該当波長よりも大きくする。

また、本発明の更に他の態様では、前記 $1/2$ 波長板と前記偏光板との間に他の $1/2$ 波長板を有してなり、前記 $1/4$ 波長板と前記 $1/2$ 波長板との遅相軸を略直交させるとともに、前記 $1/2$ 波長板の前記該当波長を前記他の $1/2$ 波長板の前記該当波長よりも大きくする。

本発明によれば、表示特性の向上、即ち明るくコントラスト比が高いとともに、視野角が広く、視野依存が少ない表示を行い、室内環境のように比較的暗い場所でも極めて見易い優れた反射型の液晶表示装置を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】 (Brief Description of the Drawings)

図1は、本発明の基本骨子1における原理構成1を説明するための斜視図である。

図2A、図2Bは、本発明の基本骨子1における原理構成1を説明するための斜視図である。

図3は、本発明の基本骨子1における原理構成2を説明するための斜視図である。

図4は、本発明の基本骨子4における原理構成1を説明するための斜視図である。

図5は、本発明の基本骨子4における原理構成2を説明するための斜視図である。

図6は、本発明の基本骨子4における原理構成3を説明するための斜視図である。

図7は、第1の実施形態の反射型液晶表示装置の概略構成を示す断面図である。

図8A、図8Bは、第1の実施形態の反射型液晶表示装置の概略構成を示す断面図

である。

図 9 は、 $\lambda/4$ 板の面内位相差が所定値から外れた時の正面コントラスト依存性を示す特性図である。

図 10 は、 $\lambda/2$ 板の面内位相差が所定値から外れた時の正面コントラスト依存性を示す特性図である。

図 11 は、視野角特性を上下右対称とさせる最適な偏光板の角度を示す特性図である。

図 12 は、電圧無印加における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り方法を示す模式図である。

図 13 は、電圧無印加における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り方法を示す模式図である。

図 14 は、液晶及び位相差板に光が Z 軸から θ だけ傾いて入射した時の屈折率異方性の求め方を示す模式図である。

図 15 は、第 2 の実施形態で用いる光学補償板の構成を模式的に示す斜視図である。

図 16 は、偏光板単体の構成と測定方法を示す斜視図である。

図 17 は、偏光板単体の方位角特性を示す特性図である。

図 18 は、偏光板 + $\lambda/4$ の構成と測定方法を示す斜視図である。

図 19 は、偏光板 + $\lambda/4$ の方位角特性を示す特性図である。

図 20 は、入射角と方位角を振って反射強度を測定し、入射角毎の方位角特性を示す特性図である。

図 21 は、観測方位を 90° に固定し、入射角と軸配置の回転角を振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

図 22 は、軸配置を $+15^\circ$ 回転させ、 30° 入射で方位角を振って反射強度を測定した場合の方位角特性を示す特性図である。

図 23 は、コントラスト比 (CR) を測定し、その方位角特性を示す特性図である。

図 24 は、可視光波長の $\lambda/4$ を有する位相差板を、遅相軸と吸収軸のなす角が 135° になるように偏光板と反射板の間に配置し、 30° 入射で方位角を振って反射強度を測定した場合の方位角特性を示す特性図である。

図 25 は、観測方位を 90° に固定し、入射角と軸配置の回転角を振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

図 26 は、偏光板 + 広帯域 $\lambda/4$ の構成と測定方法を示す斜視図である。

図 27 は、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板の組み合わせ毎に $\lambda/2$ 板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角を変化させ、指向性方位で反射強度がどのように変化するかを示す特性図である。

図 28 は、一軸延伸フィルムを積層した場合の軸配置を示す斜視図である。

図 29 は、偏光板 + $\lambda/4$ + 補償板の構成と測定方法を示す斜視図である。

図 30 は、補償板毎の方位角特性を示す特性図である。

図 31 は、観測方位を 90° に固定し、入射角及び一軸延伸フィルムの遅相軸と指向性方位のなす角を振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

図 32 は、観測方位を 270° に固定し、液晶配向の方位と指向性方位とのなす角を

振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

図33は、第3の実施形態で用いた指向性反射板の平面形状を示す模式図である。

図34は、第3の実施形態で用いたスリット付き指向性反射板の平面形状を示す模式図である。

図35Aは、偏光板+ $\lambda/4$ 板の反射率方位依存を示す特性図である。

図35Bは、偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板の反射率方位依存を示す特性図である。

図36A、図36Bは、第4の実施形態で用いた反射板の平面形状を示す概略平面図である。

図37は、反射板の反射率方位依存を示す特性図である。

図38Aは、 $\lambda/4$ 板の面内位相差を109nm～148nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存（無指向性反射板）を示す特性図である。

図38Bは、 $\lambda/4$ 板の面内位相差を109nm～148nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存（指向性反射板）を示す特性図である。

図39Aは、 $\lambda/2$ 板の面内位相差を267nm～317nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存（無指向性反射板）を示す特性図である。

図39Bは、 $\lambda/2$ 板の面内位相差を267nm～317nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存（指向性反射板）を示す特性図である。

図40は、 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板の両方の面内位相差を可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存を、指向性反射板について示す特性図である。

図41は、偏光板の反射率方位依存を各極角毎に示す特性図である。

図42Aは、 $\lambda/4$ 板の面内位相差を128nm～159nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存（無指向性反射板）を示す特性図である。

図42Bは、 $\lambda/4$ 板の面内位相差を128nm～159nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存（指向性反射板）を示す特性図である。

図43Aは、 $\lambda/2$ 板の面内位相差を240nm～285nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存（無指向性反射板）を示す特性図である。

図43Bは、 $\lambda/2$ 板の面内位相差を240nm～285nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存（指向性反射板）を示す特性図である。

図44は、 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板の両方の面内位相差を可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存を、指向性反射板について示す特性図である。

図 4 5 A 及び図 4 5 B は、従来の反射型液晶表示装置の光補償板構成を示す斜視図である。

【好適実施例の詳細な説明】 (Detailed Description of the Preferred Embodiments)

ー本発明の基本骨子ー

(基本骨子 1)

本発明は、以上の問題点を解決するためにフィルムとして汎用品を用いつつ枚数を減らし、これに合わせて液晶パネルの位相差を最適化するものである。具体的には、少なくとも 2 枚の位相差板を用いることにより、合成的に $\lambda/4$ 板の機能と負の位相差板の機能とを生成する。ここで、 $\lambda/4$ 板とは、想定する光、例えば可視光の波長の $1/4$ の位相差を有するフィルムである。また、負の位相差 R_m は、位相差板の x 方向、 y 方向、 z 方向の屈折率をそれぞれ n_x 、 n_y 、 n_z とし、光路長を d とした場合、 $R_m = ((n_x + n_y) / 2 - n_z) \cdot d$ で定義される。

〔原理構成 1〕

図 1 に本発明の具体的な原理構成を示す。

本発明の液晶表示装置の主要構成は、液晶パネル側（図 1 及び後述の図 2 及び図 3 では便宜上、液晶パネルとして反射電極、液晶層及び透明電極のみを代表して図示する。）から、第 1 の位相差板である例えば $\lambda/4$ 板 1、第 2 の位相差板である例えば $\lambda/2$ 板 2、及び偏光板 3 がこの順に設けられてなる。ここで、偏光板 3 の吸収軸と $\lambda/2$ 板 2 の吸収軸とのなす角が略 45° であり、 $\lambda/2$ 板 2 の面内位相差は位相差板 1、望ましくは $\lambda/4$ 板 1 の面内位相差に $\lambda/4$ を加えた値とされており（例えば、位相差板 1、望ましくは $\lambda/4$ 板 1 の面内位相差が $\lambda/4 + \alpha$ であれば、 $\lambda/2$ 板 2 の面内位相差は $\lambda/2 + \alpha$ となる。以下、位相差板 1 を適宜 $\lambda/4$ 板 1 と表記するが、 $\lambda/4$ 板に限定されるものではない。）、 $\lambda/4$ 板 1 の光軸と $\lambda/2$ 板 2 の光軸は直交している。ここでは、 $\lambda/4$ 板 1 の光軸が 150° 、 $\lambda/2$ 板 2 の光軸が 60° 、偏光板 3 の吸収軸が 15° とされている。

なお、図示の例では便宜上、液晶パネル 1 を反射層の形成された下基板と透明電極の形成された上基板で液晶層を挟持した形で示してある。

$\lambda/2$ 板 2 は、実質的に 2 枚の位相差板、ここでは共に光軸が 60° をなす $\lambda/4$ 板 2 a、2 b を重ね合わせた機能を有する。そして、 $\lambda/4$ 板 2 a と $\lambda/4$ 板 1 との光軸が直交するために面内位相差が相殺されて 0 となり、両者の負の位相差の和のみが残る。即ち、 $\lambda/4$ 板 1 と $\lambda/2$ 板 2 との重ね合わせにより、図 2 A に示すように、負の位相差板 4 及び $\lambda/4$ 板 5 を設けたものと同等の機能が得られることになる。

ここで、 $\lambda/4$ 板 2 a、 $\lambda/4$ 板 1 として面内位相差が $\lambda/4$ の場合を例に挙げたが、

この負の位相差の値は $\lambda/4$ 板が持つ屈折率の関係で決まる。完全な一軸の位相差板の場合には、 n_y と n_x とが等しいために負の位相差は 137 nm である。しかしながら、製法によっては二軸の $\lambda/4$ 板となるのが通常であり、この値は前後する。ここで、特に、 n_x が n_y より大きい場合には視野角特性が良好となる。

[原理構成2]

図3に本発明の他の例として、具体的な原理構成を示す。ここでは便宜上、反射電極、液晶層及び透明電極のみを代表して図示する。

本発明の液晶表示装置の主要構成は、液晶パネル側から、第1の位相差板である例えば $\lambda/4$ 板11、第2の位相差板である例えば $\lambda/2$ 板12、第3の位相差板である $\lambda/2$ 板13、及び偏光板14がこの順に設けられてなる。なお、 $\lambda/2$ 板12と $\lambda/2$ 板13とをあわせて第2の位相差板と表記している場合もある。ここで、偏光板14の吸収軸と $\lambda/2$ 板13の光軸とのなす角を θ として、 $\lambda/2$ 板13の光軸と $\lambda/2$ 板12の光軸とのなす角が $\theta \pm 45^\circ$ であり、 $\lambda/2$ 板12の面内位相差は $\lambda/4$ 板11の面内位相差に $\lambda/4$ を加えた値とされており（例えば、 $\lambda/4$ 板11の面内位相差が $\lambda/4 + \beta$ であれば、 $\lambda/2$ 板12の面内位相差は $\lambda/2 + \beta$ となる。）、 $\lambda/4$ 板11の光軸と $\lambda/2$ 板12の光軸は直交している。ここでは、 $\lambda/4$ 板11の光軸が 170° 、 $\lambda/2$ 板12の光軸が 80° 、 $\lambda/2$ 板13の光軸が 25° 、偏光板14の吸収軸が 15° とされている。

$\lambda/2$ 板12は、実質的に2枚の位相差板、ここでは共に光軸が 80° をなす $\lambda/4$ 板12a、12bを重ね合わせた機能を有する。 $\lambda/2$ 板12の面内位相差は $\lambda/4$ 板12aの面内位相差と $\lambda/4$ との和であり、 $\lambda/4$ 板12aの面内位相差と $\lambda/4$ 板11の面内位相差とは同一である。この場合、 $\lambda/4$ 板12bと $\lambda/2$ 板13との重ね合わせにより逆波長分散の $\lambda/4$ 板の機能が生成される。そして、 $\lambda/4$ 板12aと $\lambda/4$ 板11との光軸が直交するために面内位相差が相殺されて0となり、両者の負の位相差の和のみが残る。即ち、 $\lambda/4$ 板11と $\lambda/2$ 板12との重ね合わせにより、図2Bに示すように、負の位相差板15及び $\lambda/4$ 板16を設けたものと同等の機能が得られることになる。

ここで、この負の位相差の値は、これらの位相差板が持つ屈折率の関係で決まる。完全な一軸の位相差板の場合には n_y と n_x とが等しいので負の位相差は位相差板の面内位相差の半分である。本例では、2枚の組み合わせであるため、負の位相差は面内位相差と同一となる。しかしながら、製法によっては二軸の位相差板となるのが通常であり、この値は前後する。ここで、特に、 n_x が n_y より大きい時には視野角特性が良好となる。

(基本骨子2)

本発明では、表示方式を、偏光板を1枚用いた垂直配向（ヴァーティカル・アライ

メント：VA）モードとし、反射凹凸の平均傾斜角毎に特定の位相差を有する位相差板を偏光板と液晶層の間に配置する。これにより、平均傾斜角毎に最適な補償条件を提案すると共に、安価な位相差板を用いて補償することができる。平均傾斜角の大小は用途によって使い分けられ、小型パネル向けには平均傾斜角が小さいものが、大型パネル向けには平均傾斜角が大きいものが用いられる。これは小型パネルが持ち運びに容易なため、光源により近い環境下で使用することを前提としており、この場合、基板鉛直方向に出射する光は比較的浅い角度で入射するからである。一方、大型パネルは持ち運びが不便なため、机上等の光源とやや離れた環境下で使用することを前提としており、この場合、基板鉛直方向に出射する光は比較的深い角度で入射するからである。

VAモードでは、スイッチングがTNモードと逆になるが、入射した環境光を偏光板で直線偏光に変え、可視光波長のほぼ $1/4$ の位相差を有する位相差板で偏光方位を 90° 回転させ、偏光板にそれを吸収させて黒表示を行う点は同じである。但し、VAモードでは電圧無印加で黒表示となるため、TNモードのように基板界面にアンカリングした液晶層がスイッチングしないで残ることはなく、原理的にコントラスト比を高くすることができる。

しかしながら、反射凹凸を有する反射型液晶表示装置では観測者（基本鉛直方向）側に反射される光は略斜め入射であり、また基板界面の液晶も反射凹凸により傾斜配向しているため、電圧無印加でも液晶層は位相差を有している。基板面に対する観測角度（出射角）と反射凹凸の傾斜角分布が既知であれば液晶に対する光の入射角が求まるため、この位相差を見積もることが可能であり、基板鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、この位相差と略同等の位相差を有する位相差板を用いて液晶相の位相差をキャンセルすれば完全な黒表示を得ることができる。

基板鉛直方向に負の屈折率異方性を有する位相差板を用いて垂直配向した液晶層の位相差を補償する技術として、斜め入射する光に対して楕円偏光を生ぜしめ、この楕円偏光の長軸が観測面と一定の角度を形成し、斜方降下してくる光が液晶層を透過し切った場合にこの角度を消し去るように位相差板を構成する方法が知られている（特許文献4参照）。この技術は斜め入射した光が反射板に到達した時に円偏光となるように位相差板を設定することを特徴としている。

しかしながら、反射凹凸を有する反射型液晶表示装置では液晶が反射凹凸により傾斜配向しているため、液晶への光の入射角は往路と復路で異なり、発生する位相差も異なっている。前記技術は往路と復路で発生する位相差が等しい場合には、補償条件として成り立つが、異なる場合はずれが発生するため成り立たなくなる。

また、一つの屈折率（ n_z ）が他の二つの屈折率（ n_x 、 n_y ）より小さい複屈折補

償媒体（位相差板）を用いて補償を行う方法が知られている（特許文献5参照）。この技術は液晶表示装置を斜め方向からみた場合に発生する位相差を n_x 、 $n_y > n_x$ の屈折率異方性を有する位相差板を用いて補償するものであるが、このような位相差板は基板面内方向に大きな位相差を発生させないようにするため、二軸延伸といった高度な延伸処理が必要になり、一軸延伸の位相差板に比べて高価になる。

〔原理構成1〕

この液晶表示装置は、入射光を反射させる反射層と、反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板とを含む。反射層は表面に凹凸が形成されており、凹凸の平均傾斜角が略 4° 以上 6° の値であるとともに、位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が 0.6 以上 0.9 以下の値である。電圧無印加における液晶層の位相差は基板面に対する観測角度（出射角）と反射凹凸の傾斜角分布により見積もることが可能であるが、ある観測角度において最適な位相差が、ある観測角度では最適でないという問題が往々にして発生する。特に反射凹凸の平均傾斜角が小さいとこの差が顕著であり、どの観測角度に対する位相差を優先的にキャンセルすべきか十分考慮して位相差板を選択しないと、特定角度において光もれが大きくなり、コントラスト特性を大きく損なうことになる。

具体的には、反射凹凸の平均傾斜角が略 4° 以上 6° 以下となる場合、観測角度 0° （基板鉛直方向）に出射する光は略 0° 以上 12° 以下の浅い角度で液晶層に入出射するため最適な位相差は小さいが、観測角度 45° に出射する光は略 16° 以上 28° 以下の深い角度で液晶層に入出射するため最適な位相差は大きくなる。このように観測角度によって最適な位相差が大きく異なる場合、位相差の大きい方に合わせて位相差板を設定するのが好ましい。観測角度 0° では過補償となるため黒浮きが発生するが、観測角度 0° に出射する光は浅い角度で液晶層に入射するため過補償による位相差も小さく、影響は少ない。このようにして位相差の大きくなる観測角度と反射凹凸の平均傾斜角から最適な位相差 R_f を求めると略 $0.6 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.9$ となる。ここで、反射凹凸の傾斜角を傾斜角分布でなく、平均傾斜角で示したのは平均傾斜角が傾斜角分布から求められる確率中心であり、傾斜角を議論する上で代表値を用いても誤差は小さいからである。

また、 R_f を液晶層のセル厚と複屈折率差により求まる位相差 R_{lc} との比で示したのは、液晶層の位相差 R_{lc} に比例して位相差板の R_f も変化するからである。観測角度を 0° と 45° としたのは観測者が反射型液晶表示装置を手にとって正面で観測する場合が略 0° 、観測者が反射型液晶表示装置を机等に置いて斜めに観測する場合が略 45° であり、この異なる2つの観測角度を考慮して最適な位相差を見積もれば実用的な観測範囲において略良好なコントラスト特性が期待できるからである。逆に言うところこれ以上大きい観測角度を補償の対象としても実用上要求される観測範囲を越えて

おり、正面特性とのトレードオフも大きくなることから好ましくない。

[原理構成2]

この液晶表示装置は、入射光を反射させる反射層と、反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板とを含む。反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略 7° 以上 9° 以下の値であるとともに、位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が 0.5 以上 0.8 以下の値である。反射凹凸の平均傾斜角が略 7° 以上 9° 以下となる場合、観測角度 0° （基板鉛直方向）に出射する光は略 0° 以上 18° 以下で液晶層に入射し、観測角度 45° に出射する光は略 10° 以上 28° 以下の角度で液晶層に入射する。平均傾斜角が大きくなると液晶への入射角は一部重複するため、観測角度による位相差の差は小さくなる。従って最適な位相差 R_f を求めると略 $0.5 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.8$ となる。

[原理構成3]

この液晶表示装置は、入射光を反射させる反射層と、反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板とを含む。反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略 10° 以上 15° 以下の値であるとともに、位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が 0.4 以上 0.7 以下の値である。反射凹凸の平均傾斜角が略 10° 以上 15° 以下となる場合、観測角度 0° （基板鉛直方向）に出射する光は略 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ で液晶層に入射し、観測角度 45° に出射する光は略 0° 以上 28° 以下の角度で液晶層に入射する。平均傾斜角がさらに大きくなると液晶への入射角は略重複するため、観測角度による位相差の大小関係は小さくなるか、もしくは略等しくなる。このような場合、どちらの観測角度におけるコントラスト比を優先させるかによって任意に選択すればよく、最適な位相差 R_f を求めると略 $0.4 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.7$ となる。

原理構成1～3において、位相差板は n_z 係数が1以下とすることが好適である。 n_z 係数は $n_z = (n_x - n_y) / (n_x - n_z)$ で示されるため、 n_z 係数が1以下となるには $(n_x - n_z)$ が $(n_x - n_y)$ より小さい、即ち $n_y \leq n_z$ となる必要がある。 n_x 、 $n_y > n_z$ となる位相差板は基板面内方向の屈折率異方性を基板鉛直方向のそれより小さくする必要があるため、二軸延伸の如き高度な技法で作製されるが、 $n_y \leq n_z$ であれば基板面内方向の屈折率異方性を大きくできるので、一軸延伸の如き簡便な技法で作製可能となる。但し、VAモードはTNモードに比べて補償フィルムを余分に要する、補償フィルムのコストは最小限に抑える必要がある。

原理構成1～3において、位相差板は複数の一軸延伸フィルムで構成され、それぞれ

れの遅相軸が略直交するように積層配置することが好適である。一軸延伸による位相差板は基板面内方向に位相差を有するため、それぞれの遅相軸が略直交するように積層して配置すれば、基板面内方向の位相差は相殺され、基板鉛直方向の位相差のみを残すことが可能となる。一軸延伸した位相差板単体でも構わないが、一軸延伸した位相差板は二軸延伸した位相差板に比べて基板鉛直方向の位相差が小さいため、十分な補償が行えなくなる。一軸延伸した位相差板をそれぞれの遅相軸が略直交するように積層して配置すれば、基板鉛直方向の位相差を任意に設定できる。

(基本骨子3)

反射凹凸の平面形状をドッド状から特定方位に反射面が向いた幾何学形状とし、その形状を任意に制御すれば、特定方位から入射した光を効率よく観測者側に反射させることができる。

本発明者は、感光性樹脂の硬化収縮性の違いを利用して、パターン形成なしに幾何学的な反射凹凸を形成する技術を提案している。また、表示方式をTNモードから負の誘電率異方性を有する液晶を垂直配向させたパーティカル・アライメント(VA)にすることにより、基板界面にアンカリングした液晶が残らなくなるため、原理的にコントラスト比を高くすることができる。特定方位から入射した光を効率よく観測者側に反射させ、表示方式をVAモードにすれば、室内環境でも見やすい表示が実現できる。

しかし、偏光板の軸配置や液晶の配向方位のようなパネルパラメータでも反射強度の方位異方性は異なるため、反射凹凸による反射特性とマッチングがとれていないと、反射強度が極大となる方位でコントラスト比が低下し、表示が見難くなる。そこで本発明者は、以下に示す手法により、反射凹凸とパネルパラメータのマッチングが可能であり、反射凹凸により反射強度極大となる方位でコントラスト比を極大にして、表示を見やすくできることを見出した。

[原理構成1]

この液晶表示装置は、反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板とを含む。位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有しており、反射強度が極大となる方位 ϕ と偏光板の吸収軸Pとのなす角が略 65° 以上 90° 以下の値であり、当該位相差板の遅相軸F₁と吸収軸Pとのなす角が略 45° となるように配置されている。偏光板の軸配置による反射強度の方位異方性は、偏光板単体であればその吸光特性から透過軸方位で反射強度極大、吸収軸方位で反射強度極小となる。これに可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する位相差板が加わると偏光方位が回転するため、透過軸方位と吸収軸方位で反射強度極小となる。

即ち、光が可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する位相差を往復すると、位相差板遅相軸を対称軸として偏光方位が 90° 回転するが、位相差板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角が略 45° となるよう配置されていれば、透過軸方位の直線偏光は 90° 回転して偏光板吸収軸と平行になるため、反射強度極小となる。しかし、 45° 以外の方位では偏光方位が偏光板吸収軸とずれて回転するため、光漏れが発生する。また、これに可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する液晶層が加わると、偏光方位は 180° 回転して偏光板透過軸と平行となり、偏光板だけの時と同様に透過軸方位で反射強度極大となる。従って、反射凹凸により反射強度極大となる方位 ϕ と偏光板吸収軸 P のなす角が略 90° 、位相差板遅相軸 F1 と P のなす角が略 45° となるよう偏光板と位相差板を配置すれば、反射凹凸により反射強度極大となる方位でコントラスト比は極大となるはずである。

ところが、反射凹凸を有する反射型液晶表示装置では主に斜め入射した光が観測者側（基板鉛直方向）に反射されるため、斜め入射により位相差が発生して偏光方位がずれ、透過軸方位でも偏光方位が偏光板吸収軸とずれて光漏れが発生する（正確には偏光方位がずれた楕円偏光となる。）。これを補正するには偏光方位がずれた分だけ偏光板の軸配置を逆方向に回転させ、オフセットをかけるのが効果的であり、これにより偏光方位は偏光板吸収軸と略平行になる。

ここで、位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/2$ の位相差を有する第1の位相差板と、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有する第2の位相差板とを有して構成されてなり、第1の位相差板の遅相軸 F_{11} と吸収軸 P とのなす角が略 0° 以上 20° 以下であるとともに、第2の位相差板の遅相軸 F_{12} と遅相軸 F_{11} とのなす角が略 45° 以上 65° 以下であることが好適である。位相差板は一般的にノルボルネン系の高分子フィルムを延伸して作製するが、高分子フィルムは波長分散性を有するため、特定の波長に対して略 $1/4$ の位相差を有するよう位相差板を設計すると、それ以外の波長では位相差が略 $1/4$ からずれてしまう。位相差板の波長分散性を緩和して、なるべく全ての可視光波長で略 $1/4$ の位相差を有するようになるには、ノルボルネン系より波長分散性の少ない材料を用いるか、波長分散性が小さくなるように位相差板を積層する方法がある。前者についてはノルボルネン系より価格が高価であり、後者については可視光波長の略 $1/2$ の位相差を有する位相差板と可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する位相差板を積層した構造が一般的であり、広帯域 $\lambda/4$ 板（もしくは $\lambda/4$ 板）として広く用いられている。広帯域 $\lambda/4$ 板の遅相軸も偏光板吸収軸とのなす角が略 45° もしくは 135° となるよう配置するのが好ましく、広帯域 $1/4$ 板の遅相軸は第一の位相差板の遅相軸と、第二の位相差板の遅相軸を合成したベクトルに相当するので、合成ベクトルが上述の位相差板遅相軸と略等価になるようにそれぞれの位相差板を配置すればよい。

〔原理構成 2〕

この液晶表示装置は、反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、反射層上に設けられ、前記反射層上に設けられた液晶層と、液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板とを含む。位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有しており、反射強度が極大となる方位 ϕ と偏光板の吸収軸 P とのなす角が略 90° 以上 115° 以下の値であり、当該位相差板の遅相軸 F_1 と吸収軸 P とのなす角が略 135° となるように配置されている。位相差板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角が略 135° となるよう配置した場合でも、透過軸方位から入射した直線偏光は同じように偏光方位がずれるが、 45° の場合と逆方向にずれる。このため、偏光方位のずれを補正するには、偏光板の軸配置を 45° の場合と逆方向に回転させるのが好ましい。

ここで、位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/2$ の位相差を有する第 1 の位相差板と、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有する第 2 の位相差板とを有して構成されてなり、第 1 の位相差板の遅相軸 F_{11} と吸収軸 P とのなす角が略 0° 以上 20° 以下であるとともに、第 2 の位相差板の遅相軸 F_{12} と遅相軸 F_{11} とのなす角が略 135° 以上 155° 以下であることが好適である。広帯域 $\lambda/4$ 板の遅相軸は、第 1 の位相差板の遅相軸と、第 2 の位相差板の遅相軸を合成したベクトルに相当するので、合成ベクトルが上述の位相差板遅相軸と略等価になるようそれぞれの位相差板を配置すればよい。

ここで、原理構成 1、2 において、表面に対する鉛直方向及び面内方向にそれぞれ位相差を有する他の位相差板を有しており、他の位相差板は、反射強度が極大となる方位 ϕ と、位相差板及び当該他の位相差板の少なくとも一方の遅相軸 F_2 とのなす角が略 0° 以上 30° 以下となるように、位相差板よりも液晶層側に配置されていることが好適である。斜め入射による偏光方位のずれは、位相差板だけでなく液晶層でも発生する。液晶層の位相差は電圧によって変化し、VA モードでは電圧を印加して液晶層の位相差が可視光波長の略 $1/4$ になると白表示になる。白表示では反射強度変化の比率が小さいため、偏光方位のずれはさほど問題にならないが、黒表示即ち液晶に電圧を印加しない状態では、その比率が大きいためコントラスト比が大きく低下する。位相差板での偏光方位のずれは、斜め入射により負の位相差が発生して可視光波長の略 $1/4$ の位相差からずれることに起因しているが、電圧を印加しない状態即ち垂直配向した液晶層での偏光方位のずれは、斜め入射で新たに正の位相差が発生することに起因している。従って、斜め入射による液晶層での偏光方位のずれを補正するにはこの正の位相差を負の位相差でキャンセルする必要があり、基板鉛直方向に負の位相差を有する位相差板を用いて液晶層の位相差をキャンセルする手段（特許文献 6、7 参照）が提案されている。垂直配向した液晶層の屈折率異方性は略縦長の楕円体であり、屈折率異方性がそれとは逆の位相差、即ち基板鉛直方向に負の位相差を有する位相差板を用いれば、それぞれの屈折率異方性はキャンセルされるため、斜め入射で位

相差は発生しなくなる。

高分子フィルムからなる位相差板にそのような位相差を付与するには、基板面内方向に余分な位相差を発生させないため、二軸延伸の如き高度な延伸処理が必要であり、価格も高価になる。ところが、基板面内方向に位相差を付与する目的で一軸延伸した位相差板も基板鉛直方向に負の位相差を有しており、このような位相差板を遅相軸が直交するよう積層すれば、基板面内方向に余分な位相差を発生させずに、垂直配向した液晶層の位相差のみをキャンセルすることができる。例えば、基板面内方向に可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する位相差板は、基板鉛直方向にも可視光波長の略 $1/10$ から $1/6$ の負の位相差を有しており、このような位相差板を遅相軸が直交するよう積層すれば安価な位相差板を用いて液晶層の位相差をキャンセルすることができる。

ところが、一軸延伸された位相差板を遅相軸が直交するように積層した構造では、遅相軸と異なる方位で傾斜時に2つの遅相軸が異なる挙動を示すため、偏光方位にずれが発生する。即ち、斜め入射した場合の屈折率異方性は楕円体を入射面で切断した断面形状に相当するが、2つの遅相軸が異なる挙動を示して見かけ上の遅相軸が変化すると断面形状も変化して位相差がずれるため、偏光方位にずれが発生する。このため、反射強度が極大となる方位と少なくとも一方の位相差板遅相軸のなす角が略 0° 以上 30° 以下となるように積層して配置すれば、反射強度が極大となる方位で傾斜時に2つの遅相軸が異なる挙動を示すことは無くなり、反射凹凸により反射強度が極大となる方位で斜め入射による液晶層の位相差を効果的にキャンセルすることができる。

〔原理構成3〕

この液晶表示装置は、反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、反射層上に設けられた液晶層とを含み、液晶層の液晶分子を、反射強度が極大となる方位 ϕ と当該液晶分子のダイレクタ方位 L とのなす角が略 45° 以上 90° 以下となるように配向させる。反射凹凸の平面形状を反射強度大となる方位に傾斜面が向いた幾何学形状とした場合、基板界面の液晶分子は反射強度大となる方位に初期傾斜する。また、ラビング処理のような配向制御でも基板界面の液晶は初期傾斜する。液晶分子が初期傾斜すると黒表示で反射強度が大きくなり、コントラスト比は低下するが、反射凹凸により液晶が初期傾斜する方位と配向制御により液晶が初期傾斜する方位のなす角が略 45° 以上 90° 以下の範囲で、好ましくは略 90° で異なっていれば、初期傾斜した液晶の位相差はキャンセルされるため、コントラスト比を改善することができる。

ここで、反射強度について方位異方性を有する反射凹凸を用いて該当方位に液晶を配向させることが好適である。反射凹凸は導電突起として作用するため、電圧印加時に反射凹凸近傍の液晶は傾斜面に対して略平行方位に配向する。これは、液晶が初期

傾斜する方位と斜め電界により傾斜配向する方位が異なると、傾斜面の液晶が傾斜方位に配向し難くなるためであり、反射凹凸近傍の液晶は突起上の配向方位に引きずられて傾斜面に対して略平行方位に配向する。そこで、反射凹凸の傾斜面が反射強度極大となる方位と略平行になるように密に配置すれば、反射凹凸により該当方位に液晶を配向させることができる。反射凹凸を利用した配向制御では、ラビング処理のように液晶の傾斜角が大きくなり過ぎないため、上下基板に配向制御手段を施してもコントラスト比は低下せず、また配向安定性も向上する。

また、画素電極上に形成されたスリットを用いて該当方位に液晶を配向させることが好適である。スリットは絶縁体として作用するため、スリット幅を斜め電界が発生する領域が小さくなる程度に狭くすると、電圧印加時にスリット近傍の液晶はスリット長辺に対して略平行方位に配向する。これは、斜め電界が発生する領域が小さくなることにより、スリットエッジ部の液晶分子が斜め電界方位に傾斜配向し難くなるためであり、スリット近傍の液晶分子はスリット上の配向方位に引きずられてスリット長辺と略平行に配向する。そこで、スリット長辺が反射強度極大となる方位と略平行になるようスリットを配置すれば、スリットにより該当方位に液晶を配向させることができる。スリットを利用した配向制御では、配向安定性以外にもスリット上を透過領域にして反射透過型液晶表示装置を実現できる。

(基本骨子 4)

ここでは、VAモードであり、基本骨子 3 の構成（反射強度について方位異方性を有する反射凹凸を有する構成）において、液晶表示装置の厚さ方向における位相差の方位依存を制御して、反射強度が極大となる方位でコントラスト比を高くする。

〔原理構成 1〕

この液晶表示装置は、図 4 に示すように、下ガラス基板 3 1 と上ガラス基板 3 2 とで誘電率異方性が負の液晶分子からなる液晶層 3 3 を挟持し、下ガラス基板 3 1 と液晶層 3 2 との間には反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成されてなるしわ状反射電極 3 4 が、上ガラス基板 3 2 と液晶層 3 2 との間には透明電極 3 5 がそれぞれ設けられている。そして、上ガラス基板 3 2 上（前面）に $\lambda/4$ 板 3 6、 $\lambda/2$ 板 3 7 及び偏光板 3 8 が設けられており、 $\lambda/4$ 板 3 6 及び $\lambda/2$ 板 3 7 の該当波長が異なり、反射強度が極大となる方位において斜め入射又は斜め出射により $\lambda/4$ 板 3 6、 $\lambda/2$ 板 3 7 液晶層 3 3 により発生する位相差が、反射強度が極小となる方位の前記位相差よりも小さくなるように構成されている。

$\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板との組合せは、広帯域 $\lambda/4$ 板として広く用いられており、広帯域 $\lambda/4$ 板も光学補償板と同様に厚さ方向に負の位相差を有している。これらの該当波長を視感度ピーク波長である 550 nm と異ならせることにより、即ち $\lambda/4$ 板では面内位相差を 137.5 nm から、 $\lambda/2$ 板では 275 nm からずらすことにより、

厚さ方向の位相差の方位依存を制御して、反射強度極大となる方位において斜め入射又は斜め出射により液晶層 33、 $\lambda/4$ 板 36 及び $\lambda/2$ 板 37 で発生する位相差を、反射強度が小となる方位のそれより小さくして、コントラスト比を高くすることができる。反射強度が小となる方位では厚さ方向の位相差が逆方向にシフトしてコントラスト比は低下するが、しわ状反射電極 34 のように反射強度に方位異方性を有する反射凹凸を適用すれば、表示上問題とならないレベルまで光もれを小さく抑えることができる。

この点、従来技術においても、 $\lambda/4$ 板の位相差を減ずる、即ち該当波長を小さくすることによりコントラスト比を改善する技術が提案されているが、従来技術は電圧印加時に基板界面にアンカリングした液晶層の位相差を補償するためのものであり、 $\lambda/4$ 板の遅相軸を液晶層のアンカリング（配向）方位と概ね一致させ、液晶層の面内位相差と $\lambda/4$ 板の面内位相差の和を概ね 137.5 nm となるように該当波長を調整している点で本発明と異なっている。

本発明は、電圧無印加時に斜め入射において液晶層に発生する位相差を補償するためのものであり、液晶層で発生する位相差と、光学補償板で発生する位相差との差が該当方位で小さくなるように $\lambda/4$ 板及び $\lambda/2$ 板の各該当波長を調整している。加えて、従来技術では $\lambda/4$ 板の遅相軸が液晶層の配向方位と大きくずれるとコントラスト比は改善しないが、本発明では液晶層の配向方位と関係なく、コントラスト比は改善する。

本発明では、 $\lambda/4$ 板 36 及び $\lambda/2$ 板 37 の各該当波長を、20 nm 以上 200 nm 以下の値だけ異ならせることが好適である。ここで、下限を 20 nm としたのは、20 nm 未満ではコントラスト比の改善効果が小さく、面内位相差の制御も難しいためである。上限を 200 nm としたのは、200 nm 以上にすると反射強度が極小となる方位でコントラスト比の低下が著しく、反射強度に方位異方性を有する反射凹凸を適用しても光もれを抑え切れなくなるためである。

また、 $\lambda/4$ 板 36 の該当波長を $\lambda/2$ 板 37 の該当波長よりも小さくすることが好適である。 $\lambda/4$ 板 36 及び $\lambda/2$ 板 37 はそれぞれ厚さ方向に負の位相差を有するが、直線偏光の光が入射する方位によって、実効的な負の位相差は小さくなり、液晶層 33 の位相差の大部分は残ってしまう。従って、反射強度が極大となる方位において斜め入射又は斜め出射により広帯域 $\lambda/4$ 板で発生する負の位相差が大きくなるように、 $\lambda/4$ 板 36 の該当波長を小さく、 $\lambda/2$ 板 37 の該当波長を大きくする。

[原理構成 2]

この液晶表示装置は、図 5 に示すように、原理構成 1 の上ガラス基板 32 と $\lambda/4$ 板 36 との間に負の位相差板 39 を有して構成されており、 $\lambda/4$ 板 36 の該当波長

を $\lambda/2$ 板37の該当波長よりも大きくする。

厚さ方向に負の位相差を有する負の位相差板39、即ち光学補償板がある場合、液晶層33の位相差が概ねキャンセルされるように負の位相差板39の位相差又は液晶層33の位相差が設定されるため、反射強度が極大となる方位において斜め入射又は斜め出射によりこれらの位相差で発生する位相差が小さくなるように、 $\lambda/4$ 板36の該当波長を大きく、 $\lambda/2$ 板37の該当波長を小さくする。

〔原理構成3〕

この液晶表示装置は、図6に示すように、原理構成1の $\lambda/2$ 板37と偏光板38との間に他の $\lambda/2$ 板40を有して構成されており、 $\lambda/4$ 板36と $\lambda/2$ 板37との遅相軸を略直交させるとともに、 $\lambda/2$ 板37の該当波長を他の $\lambda/2$ 板40の該当波長よりも大きくする。

この場合も原理構成2と同様に、反射強度が極大となる方位において斜め入射又は斜め出射によりこれらの位相差で発生する位相差が小さくなるように、 $\lambda/4$ 板36の該当波長を大きく、 $\lambda/2$ 板37の該当波長を小さくすればよい。しかしながら、このことは広帯域 $\lambda/4$ 板を構成する $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板に関する場合であり、原理構成3では、広帯域 $\lambda/4$ 板を構成する部分、即ち $\lambda/2$ 板37の該当波長を大きく、他の $\lambda/2$ 板40の該当波長を小さくする。

—具体的な諸実施形態—

上述した本発明の基本骨子を踏まえ、本発明を適用した具体的な諸実施形態について説明する。

（第1の実施形態）

図7及び図8Aは、本実施形態の反射型液晶表示装置の概略構成を示す断面図である。ここで便宜上、図7では $\lambda/4$ 板+ $\lambda/2$ 板+偏光板をまとめて記載しており、図8Aでは反射電極を簡略化し、樹脂層等の記載を省略している。

この液晶表示装置は、下ガラス基板21と上ガラス基板22とで誘電率異方性が負の液晶分子からなる液晶層23を挟持し、更に上ガラス基板22上（前面）に第1の位相差板である $\lambda/4$ 板1、第2の位相差板である $\lambda/2$ 板2及び偏光板3（図1と同様）の積層構造を有する光学補償板が設けられて構成されている。なお、 $\lambda/4$ 板とは、想定する光（可視光）の波長の $1/4$ に相当する位相差を有するフィルムであり、 $\lambda/2$ 板とは、想定する光（可視光）の波長の $1/2$ に相当する位相差を有するフィルムである。例えば、想定する光の波長が550nmであれば、 $\lambda/4$ 板による位相差は $550/4=137.5$ nmとなり、想定する光の波長が600nmであれば、 $\lambda/2$ 板による位相差は $600/2=300$ nmとなる。

下ガラス基板 21 は、画素毎にスイッチング素子として TFT 素子 24 を具備しており、この下ガラス基板 21 の表面には、紫外線硬化樹脂あるいはレジストからなる樹脂層 25 を用いて凹凸あるいは皺状のパターンを構成し、この表面をアルミニウム層で覆うことにより構成されるしわ状反射電極 26 が形成され、更に反射型電極 26 を覆うように垂直配向性の配向膜 27a が形成されている。樹脂層 25 は、TFT 素子 24 と下ガラス基板 21 とを覆う形で形成されており、その一部は TFT 素子 24 からの信号の接続用にパターニングされている。しわ状反射電極 26 の凹凸の平均傾斜角は 5° 以上 15° 以下に適宜設定されている。

他方、上ガラス基板 22 の表面には、カラーフィルタ (CF) 層 28 を介して ITO 透明電極 29 が形成され、この透明電極 29 を覆うように垂直配向性の配向膜 27b が形成されている。液晶層 23 と上下で接する配向膜 27a、27b により、液晶層 23 の液晶分子が垂直配向する。

なお、配向膜 27a、27b としては、JSR 社あるいは日産化学社より市販されている材料を用いる。また、液晶層 23 としては、メルク社より市販されている材料を用いる。そして、電圧オフにて垂直配向、電圧オンにて傾斜配向とする。図 7 の構成においては、電圧オフにて黒表示、電圧オンにて白表示が実現される。

位相差板である $\lambda/4$ 板 1 及び $\lambda/2$ 板 2 としては、ポリカーボネート、ポリスチレン、ノルボルネン系樹脂などを延伸したフィルムが各社より製品化されており、これらを材料として用いる。例えば、住友化学社製の製品名エスシーナフィルム、JSR 社製の製品名アートンフィルムを延伸したフィルムが住友化学社や日東電工社から市販されている。

これらのフィルムを図 1 に示すような軸関係、ここでは両者の光軸が直交するように積層する。 $\lambda/2$ 板 2 の位相差は $\lambda/4$ 板 1 の位相差に $\lambda/4$ を加えた値とした。 $\lambda/2$ 板 2 の光軸と偏光板の吸収軸とは 45° の角度をなすように積層する。

(変形例)

ここで、第 1 の実施形態の変形例について説明する。

図 8B は、この変形例の反射型液晶表示装置の概略構成を示す断面図である。

この変形例では、光学補償板が図 3 と同様に $\lambda/4$ 板 11、 $\lambda/2$ 板 12、 $\lambda/2$ 板 13、及び偏光板 14 がこの順に積層させてなる。偏光板 14 の吸収軸と $\lambda/2$ 板 13 の光軸との角度は設計要素として変更することが可能であり、この角度を θ として、 $\lambda/2$ 板 13 の光軸と $\lambda/2$ 板 12 の光軸との角度のなす角度を、 $\theta \pm 45^{\circ}$ に設定する。図 3 では、 θ は 10° ($=25^{\circ}-15^{\circ}$) であって、 $\lambda/2$ 板 13 の光軸と $\lambda/2$ 板 12 の光軸とのなす角度を、 $55^{\circ}=10^{\circ}+45^{\circ}$ に設定する。ここでは、 $\lambda/2$ 板 12 の光軸を 80° ($=25^{\circ}+55^{\circ}$) に設定している。

更に、 $\lambda/2$ 板12の光軸と $\lambda/4$ 板11の光軸とを直交させる。ここでは、 $\lambda/4$ 板11の光軸を $170^\circ (=80^\circ + 90^\circ)$ に設定している。 $\lambda/2$ 板13と $\lambda/2$ 板12との組み合わせにより逆波長分散の $\lambda/4$ 板が実現する。ここで、 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板は逆波長分散を有する $\lambda/4$ 板を実現するために量産が進んでおり単価が安い。

ここまでは、各位相差板の面内位相差にのみ着目して述べたが、フィルムの厚さ方向の位相差が広い視野角を実現するために重要である。

厚さ方向の位相差は、面内の屈折率を n_x 、 n_y とし($n_x \geq n_y$)、厚さ方向の屈折率を n_z 、フィルムの厚さを d として、

$$((n_x + n_y) / 2 - n_z) \cdot d$$

で表される。

完全な一軸フィルム($n_y = n_z$)の場合には、負の位相差は面内位相差の $1/2$ である。図3の構成では、原理的な構成としては、 $\lambda/4$ 板11と $\lambda/4$ 板12aとで負の位相差を実現しているが、負の位相差の絶対値は個々の、 $\lambda/4$ 板11、12aの負の位相差の和で表される。このため、一軸フィルムを用いる場合には負の位相差は例えば $\lambda/4 (= \lambda/4 + 2 \times 2)$ に限定されてしまう。我々は、積極的に二軸フィルムを採用し、この負の位相差の最適化を図った。液晶層の $\Delta n d$ をA、 $\lambda/2$ 板12と $\lambda/4$ 板11との負の位相差の和をBとして、 $0 \text{ nm} < A - B < 300 \text{ nm}$ に設定した。特に、Aを 300 nm 、Bを $220 \text{ nm} \pm 50 \text{ nm}$ に設計することにより、良好な特性を実現することができる。この良好な範囲については他の指標を導入することも可能である。

$\lambda/4$ 板1の面に垂直な方向の位相差と液晶分子の位相差との差が 0 nm 以上、 200 nm 以下であるときに良好な特性が得られる。同様に、 $\lambda/2$ 板12、 $\lambda/4$ 板11の面に垂直な方向の位相差と液晶分子の位相差との差が 0 nm 以上、 200 nm 以下であるときに良好な特性が得られる。

$\lambda/4$ 板、 $\lambda/2$ 板については、その位相差は液晶表示装置のコントラストを左右する。通常、人間の目の感度は緑色光、それも 550 nm を中心とする光に対して反応する。このため、 $\lambda/2$ 板は $550 \text{ nm} / 2 = 275 \text{ nm}$ 、 $\lambda/4$ 板は $550 \text{ nm} / 4 = 137.5 \text{ nm}$ であることが望ましい。しかしながら、この条件から外れたとしても、コントラストの低下は問題になることはそれ程ない。

図9は、 $\lambda/4$ 板の面内位相差がこの 137.5 nm から外れた時の正面コントラスト依存性を示す特性図である。

100 nm 以上 180 nm 以下の範囲においては正面コントラストは略5以上が実現されている。反射型液晶表示装置の場合、コントラストが5以上であれば実際の使

用上は問題ないと言える。このことから面内位相差の範囲を100nm以上180nm以下の範囲に設定した。本実施形態において、この $\lambda/4$ の値の範囲についてはその原理は共通しており、 $\lambda/4$ 板とした場合には、この範囲で共通してほぼ良好な特性を得ることができた。

同様に、 $\lambda/2$ 板について検証した結果を図10に示す。

$\lambda/2$ 板の理想的な位相差は275nmではあるが、ここから外れた場合のコントラストを示す。位相差が200nm以上360nm以下の範囲においては略5以上の正面コントラストが実現されている。反射型液晶表示装置の場合、コントラストが5以上であれば実際の使用上は問題ないと言える。このことから面内位相差の範囲を200nm以上360nm以下の範囲に設定する。本実施形態において、この $\lambda/2$ の値の範囲についてはその原理は共通しており、 $\lambda/2$ 板とした場合には、この範囲で共通してほぼ良好な特性を得ることができる。

この位相差としての値は、フィルムの位相差の差としての $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ の値についても共通している。例えば、 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板との位相差の差は $\lambda/4$ であると本文中で述べているが、この値についても同様の議論が成り立つ。

偏光板の吸収軸と液晶層の配向方向関係は、液晶ディスプレイの視野角特性に影響する。液晶層の $\Delta n d$ 、フィルムの面内位相差、特に、負の位相差板としての $\lambda/4$ 板1、 $\lambda/4$ 板11の位相差に依存する。液晶層の配向方向を左右方向としたときの、視野角特性を上下右対称とさせる最適な偏光板の角度を図11に示す。液晶層の $\square n d$ をXとし、従来例として挙げたフィルムの負の位相差をYとして、XとYとの差を横軸とした。ここで、負の位相差としては、図1、図3に示したように $\lambda/4$ 板1と $\lambda/4$ 板2aとで、 $\lambda/4$ 板11と $\lambda/4$ 板12aとで構成される負の位相差もこの指標の元となるYとして作用する。

図11にこの位相差の差と最適な偏光板の角度との関係を示す。最適角度は、最適角度(°)

$$= (\text{液晶層の位相差 (nm)} - \text{フィルムの負の位相差 (nm)}) \cdot 22.5 / 300 - 7.5$$

にほぼ乗ることが判る。ここで、白表示を行うためには液晶層の位相差は $\lambda/4 = 137.5$ nm程度以上は必要である。この場合、フィルムによる負の位相差を付与しないことを考えると計算上では約2°となる。このことから、偏光板の設定角度は0度以上とすることが望ましいことが判る。また、白表示を行うためには液晶層の位相差は大きいことが有利である。500nmとすると3V程度の低電圧で駆動可能である。ここでフィルムの負の位相差を0とすると偏光板の角度は30°となる。本実施形態においては、これらの検証結果から偏光板の角度としては、0°以上30°以下の範囲に設定する。

また、液晶層の位相差 (nm) とフィルムの負の位相差 (nm) との値については、その差が大きすぎると斜め視野角におけるコントラストが落ちて視野角特性が悪い。この差を 200 nm 以下とすることによって、全方位においてコントラストが 3 以上となる傾き角の範囲を $\pm 40^\circ$ とすることができる。

以上説明したように、本実施形態によれば、明るい表示を実現できるとともに、視野角の広い液晶表示装置を実現することができる。

(第2の実施形態)

表面に反射能を有する凸凹は次のようにして基板表面に形成する。まず、TFT基板 (下ガラス基板) 上に感光性樹脂 (シプレーファースト社製) を約 $1\mu\text{m}$ の厚さでスピンコートする。プリベーク後、紫外線照射、1 回目のベーク、2 回目のベークを順次行い、平均傾斜角が 4.5° (サンプル 1、比較例 1)、 7.5° (サンプル 2、比較例 2)、 11.5° (サンプル 3、比較例 3)、 14.5° (サンプル 4、比較例 4) の凸凹を形成する。なお、凸凹の傾斜角制御は 1 回目のベークの時間を変えることにより行い、平均傾斜角は原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて測定する。その後、凸凹上に Al を蒸着して反射凸凹を形成する。

次に、TFT基板及びCF基板 (上ガラス基板) の表面に垂直配向膜 (JSR社製) を塗布し、 $3\mu\text{m}$ 径のスペーサ (積水ファインケミカル社製) を散布して貼り合せを行う。この空パネルに、負の誘電異方性を有し、異常光と常光の屈折率差 Δn が 0.0995 である液晶 (メルク・ジャパン社製) を注入してVAモードの反射型液晶表示装置を得る。

図 12 及び図 13 に電圧無印加における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り方法を、図 14 に液晶及び位相差板に光が Z 軸から θ だけ傾いて入射した時の屈折率異方性の求め方を示す。

観測角度 0° 及び 45° に出射する光の入射角は平均傾斜角により規定されるが、液晶分子は上基板から下基板 (反射板側) へ向かうに従って平均傾斜角だけ傾斜配向しているため、液晶への光の入射角は往路では上ガラス基板から下ガラス基板へ向かうに従って平均傾斜角分小さくなり、復路では下ガラス基板から上ガラス基板へ向かうに従って平均傾斜角分小さくなる。また、液晶は基板鉛直方向に正の屈折率異方性を有する屈折率楕円体と仮定し、光が Z 軸方向から入射角だけ傾いて入射した時の屈折率異方性から電圧無印加における液晶層の位相差を求めた。

表 1 に本実施形態で用いた位相差板の基板鉛直方向の位相差を、表 2、表 3 に平均傾斜角 3.5° 以上 15.5° 以下の反射凸凹を適用した場合の電圧無印加における液晶層の位相差と位相差板の位相差を観測角度毎に計算した結果を示す。電圧無印加に

おける液晶層の位相差は、観測角度 0° の場合、平均傾斜角 4.5° で 4.5 nm 、 7.5° で 12.6 nm 、 11.5° で 30.5 nm 、 14.5° で 50.1 nm となり、観測角度 45° の場合、平均傾斜角 4.5° で 98.3 nm 、 7.5° で 77.4 nm 、 11.5° で 56.5 nm 、 14.5° で 45.5 nm となる。

【表1】

位相差板①～⑧の基板鉛直方向の位相差 (nm)

	位相差 ①	位相差 ②	位相差 ③	位相差 ④	位相差 ⑤	位相差 ⑥	位相差 ⑦	位相差 ⑧
Rf	47.5	103.6	132.8	154.3	175.1	195.1	248.1	288.4
Rf/Rlc	0.16	0.35	0.44	0.52	0.59	0.65	0.83	0.97

【表2】

電圧無印加における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り結果(観測角度 0°)

	平均 傾斜	液晶層	位相差 ①	位相差 ②	位相差 ③	位相差 ④	位相差 ⑤	位相差 ⑥	位相差 ⑦	位相差 ⑧
サンプル1	3.5	2.7	3.9	4.9	4.6	4.9	5.3	4.7	6.5	7.2
	4.5	4.5	4.4	5.9	5.9	6.5	7.0	6.6	8.9	10.0
	5.5	6.7	4.9	7.2	7.5	8.4	9.2	9.0	12.0	13.6
	6.5	9.4	5.6	8.7	9.5	10.7	11.8	11.9	15.7	17.9
サンプル2	7.5	12.6	6.5	10.5	11.8	13.3	14.8	15.3	20.0	22.9
	8.5	16.3	7.4	12.6	14.5	16.4	18.3	19.3	25.0	28.7
	9.5	20.5	8.5	15.0	17.5	20.0	22.3	23.7	30.7	35.3
サンプル3	10.5	25.2	9.7	17.6	20.9	23.9	26.8	28.7	37.0	42.6
	11.5	30.5	11.1	20.5	24.7	28.3	31.7	34.2	44.0	50.8
	12.5	36.4	12.6	23.8	28.8	33.1	37.2	40.3	51.8	59.8
サンプル4	13.5	42.9	14.2	27.3	33.4	38.4	43.2	47.0	60.3	69.7
	14.5	50.1	16.0	31.2	38.3	44.2	49.8	54.3	69.6	80.5
	15.5	57.9	17.9	35.5	43.8	50.5	56.9	62.3	79.7	92.3

【表3】

電圧無印加における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り結果(観測角度45°)

	平均 傾斜	液晶層	位相差 ①	位相差 ②	位相差 ③	位相差 ④	位相差 ⑤	位相差 ⑥	位相差 ⑦	位相差 ⑧
サンプル1	3.5	106.4	25.0	47.3	64.1	73.7	83.0	90.2	104.6	123.6
	4.5	98.3	23.8	44.6	62.0	71.3	80.3	87.1	101.8	119.0
	5.5	90.8	22.7	42.2	60.1	69.0	77.6	84.2	98.6	114.7
	6.5	83.9	21.7	40.1	58.2	66.8	75.2	81.4	95.8	110.6
サンプル2	7.5	77.4	20.9	38.3	56.4	64.7	72.8	78.8	93.2	106.7
	8.5	71.5	20.2	36.8	54.7	62.7	70.5	76.3	90.7	103.0
	9.5	66.0	19.6	35.5	53.0	60.8	68.4	73.9	88.3	99.4
サンプル3	10.5	61.0	19.1	34.4	51.5	59.1	66.4	71.7	86.1	96.1
	11.5	56.5	18.7	33.6	50.1	57.4	64.5	69.6	84.0	93.0
	12.5	52.4	18.5	33.1	48.7	55.9	62.7	67.6	82.0	90.1
サンプル4	13.5	48.7	18.4	32.9	47.5	54.4	61.1	65.7	84.6	87.4
	14.5	45.5	18.4	32.8	46.3	53.0	59.5	64.0	82.4	84.8
	15.5	42.8	18.5	33.1	45.2	51.8	58.1	62.4	80.4	82.5

また、位相差板は基板鉛直方向に負の屈折率異方性を有する屈折率楕円体と仮定し、液晶と同様に光がZ軸方向から入射角だけ傾いて入射した時の屈折率異方性から求めた。観測角度0°及び45°に出射する光の入射角は平均傾斜角により規定されるが、位相差板は液晶のように傾斜配向しないため、入射角はそのままの値を用いることができる。

なお、位相差板は基板鉛直方向にそれぞれ①47nm②104nm③133nm④154nm⑤175nm⑥195nm⑦248nm⑧288nmの位相差を有している。①～⑧の位相差板は表1に示したような位相差を有しており、観測角度0°の場合、平均傾斜角4.5°で最適な位相差板は①、7.5°では④、11.5°では⑤、14.5°では⑤となる。一方、観測角度45°の場合、平均傾斜角4.5°で最適な位相差板は⑦、7.5°では⑥、11.5°では④、14.5°では③となる。観測角度0°の場合にそれぞれの平均傾斜角で最適な位相差板を適用すると、観測角度45°では補償条件がずれることとなり、その位相差は平均傾斜角4.5°で74.5nm、7.5°で12.7nm、11.5°で8.0nm、14.5°で14.0nmとなる。一方、観測角度45°の場合にそれぞれの平均傾斜角で最適な位相差板を適用すると、観測角度0°では補償条件がずれることとなり、その位相差は平均傾斜角4.5°で4.4nm、7.5°で2.7nm、11.5°で2.2nm、14.5°で11.8nmとなる。

観測角度によって最適な位相差が大きく異なる場合、電圧無印加における液晶層の

位相差が大きい方を優先して位相差板を選ばないと、特定角度で光もれが大きくなり、コントラスト特性を大きく損なうことになる。従って、平均傾斜角 4.5° で最適な位相差板は⑦、 7.5° では⑥、 11.5° では④、 14.5° では③もしくは⑤とするのが好ましい。

従って、補償に必要な最適位相差を液晶層のセル厚と複屈折率差により求まる位相差 R_{lc} との比で示すと、平均傾斜角 4.5° では 0.83 、 7.5° では 0.65 、 11.5° では 0.52 、 14.5° では 0.44 もしくは 0.59 となる。 R_f/R_{lc} の値は反射凹凸の平均傾斜角によって変動し、また最適な位相差から 10% 程度のずれであれば十分な補償効果が期待できることから、平均傾斜角が略 4° 以上 6° 以下であれば $0.6 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.9$ 、略 7° 以上 9° 以下であれば $0.5 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.8$ 、略 10° 以上 15° 以下であれば $0.4 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.7$ となる。

ここで、平均傾斜角は整数値で示しているが、小数点以下があれば四捨五入すればよく、平均傾斜角 4° 以上 6° 以下の記載は 3.5° 以上 6.5° 以下と同意である。最適な位相差から $\pm 10\%$ までのずれを最適な位相差範囲とすると、平均傾斜角 3.5° で略 225 nm 以上 275 nm 以下(0.75 以上 0.92 以下)、 6.5° で略 180 nm 以上 220 nm 以下(0.60 以上 0.74 以下)となり、平均傾斜角が略 4° 以上 6° 以下で最適な位相差範囲は $0.6 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.9$ となる。

ここで、 R_f/R_{lc} は小数点1桁の値で示しているが、小数点2桁以下であれば四捨五入すれば良く、 $0.6 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.9$ は $0.55 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.94$ と同意である。

同様に、平均傾斜角 9.5° で最適な位相差範囲は略 140 nm 以上 195 nm 以下($0.47 \sim 0.65$)となり、平均傾斜角が略 $7^\circ \sim 9^\circ$ で最適な位相差範囲は $0.5 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.8$ となる。同様に、平均傾斜角 15.5° で最適な位相差範囲は略 $120\text{ nm} \sim 195\text{ nm}$ ($0.40 \sim 0.65$)となり、平均傾斜角が略 $10^\circ \sim 15^\circ$ で最適な位相差範囲は $0.4 \leq R_f/R_{lc} \leq 0.7$ となる。

このようにして求めた位相差に一軸延伸された位相差板を、直交配置で偏光板と液晶表示素子との間に積層することにより構成する。即ち、平均傾斜角 4.5° で最適な位相差は 248 nm 程度であることから、サンプル1では基板面内方向に 260 nm 、基板鉛直方向に 125 nm の位相差を有する位相差板(住友化学社製、 n_x 係数 $=0.94$)を、平均傾斜角 7.5° で最適な位相差は 195 nm 程度であることから、サンプル2では基板面内方向に 220 nm 、基板鉛直方向に 97.9 nm の位相差を有する位相差板(住友化学社製、 n_x 係数 $=0.94$)を、平均傾斜角 11.5° で最適な位相差は 154 nm 程度であることから、サンプル3では基板面内方向に 165 nm 、

基板鉛直方向に75.1nmの位相差を有する位相差板（住友化学社製、 n_x 係数=0.96）を、平均傾斜角14.5°で最適な位相差は133nm程度であることから、サンプル4では基板面内方向に150nm、基板鉛直方向に66.4nmの位相差を有する位相差板（住友化学社製、 n_x 係数=0.94）をそれぞれ直交配置で偏光板と液晶表示素子の間に積層すればよい。

但し、図15に示すように、反射型液晶表示装置に用いられる位相差板は、これ以外に広帯域 $\lambda/4$ 板として基板面内方向に可視光波長の略1/2の位相差を有する位相差板（ $\lambda/2$ 板）と略1/4の位相差を有する位相差板（ $\lambda/4$ 板）が必要であり、直交配置で積層する補償板（1）、（2）を含めると都合4枚の位相差板が必要になる。積層枚数が多くなると安価な位相差板を用いてもメリットが少なくなるため、実施例では $\lambda/4$ 板と補償板（1）を一体化して3枚構成とする。ここで便宜上、図15では液晶層は反射板と補償板（2）との間に存するものとして図示を省略する。

即ち、 $\lambda/4$ 板の基板面内方向の位相差は135nm程度であるが、これに補償板1枚分の位相差を加えれば一体化が可能であり、平均傾斜角4.5°で395nm、7.5°で355nm、11.5°で300nm、14.5°で285nmとなる。一体化した位相差板は平均傾斜角4.5°で基板面内方向に400nm、基板鉛直方向に178nmの位相差を有する位相差板（サンプル1、住友化学社製、 n_x 係数=0.94）を、7.5°で基板面内方向に350nm、基板鉛直方向に155nmの位相差を有する位相差板（サンプル2、住友化学社製、 n_x 係数=0.94）を、11.5°で基板面内方向に300nm、基板鉛直方向に133nmの位相差を有する位相差板（サンプル3、住友化学社製、 n_x 係数=0.94）を、14.5°で基板面内方向に288nm、基板鉛直方向に128nmの位相差を有する位相差板（サンプル4、住友化学社製、 n_x 係数=0.94）をそれぞれ用いる。

ここで、一体化した位相差板は基板鉛直方向に位相差を有しているが、電圧無印加における液晶層の位相差を補償するのに有効な位相差は略補償板に該当する位相差である。これは広帯域 $\lambda/4$ 板に入射する光は遅相軸に対して略45°方位から直線偏光で入射するが、補償板に入射する光は遅相軸に対して方位依存のない円偏光で入射するからである。即ち、一軸延伸された位相差板の基板鉛直方向の位相差は方位依存性があり、遅相軸方位に対しては有効に作用するが、遅相軸方位から大きく外れるとあまり有効に作用しなくなる。偏光板吸収軸を15°方位、 $\lambda/2$ 位多値相軸を25°方位、一体型位相差板（ $\lambda/4$ 板+補償板（1））遅相軸を80°方位、補償板（2）を170°方位、液晶のラビング角度を0°方位として順次積層配置し、反射型液晶表示装置を得る。

また、比較例として補償板を二軸延伸の位相差板で構成し、斜め入射した光が反射板に到達した時に円偏光となるように、即ち往路で位相差板と液晶層で発生する位相

差が等しくなるように位相差を設定した反射型液晶表示装置を作製する。表4、表5に平均傾斜角3.5°以上15.5°以下の反射凹凸を適用した場合の往路における液晶層の位相差と位相差板の位相差を観測角度毎に計算した結果を示す。

【表4】

往路における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り結果(観測角度0°)

	平均傾斜	液晶層	位相差①	位相差②	位相差③	位相差④	位相差⑤	位相差⑥	位相差⑦	位相差⑧
比較例1	3.5	2.3	3.9	4.9	4.6	4.9	5.3	4.7	6.5	7.2
	4.5	3.9	4.4	5.9	5.9	6.5	7.0	6.6	8.9	10.0
	5.5	5.8	4.9	7.2	7.5	8.4	9.2	9.0	12.0	13.6
	6.5	8.2	5.6	8.7	9.5	10.7	11.8	11.9	15.7	17.9
比較例2	7.5	11.0	6.5	10.5	11.8	13.3	14.8	15.3	20.0	22.9
	8.5	14.2	7.4	12.6	14.5	16.4	18.3	19.3	25.0	28.7
	9.5	18.0	8.5	15.0	17.5	20.0	22.3	23.7	30.7	35.3
比較例3	10.5	22.1	9.7	17.6	20.9	23.9	26.8	28.7	37.0	42.6
	11.5	26.8	11.1	20.5	24.7	28.3	31.7	34.2	44.0	50.8
	12.5	32.0	12.6	23.8	28.8	33.1	37.2	40.3	51.8	59.8
比較例4	13.5	37.8	14.2	27.3	33.4	38.4	43.2	47.0	60.3	69.7
	14.5	44.2	16.0	31.2	38.3	44.2	49.8	54.3	69.6	80.5
	15.5	51.3	17.9	35.5	43.8	50.5	56.9	62.3	79.7	92.3

【表5】

往路における液晶層の位相差と位相差板の位相差の見積り結果(観測角度45°)

	平均傾斜	液晶層	位相差①	位相差②	位相差③	位相差④	位相差⑤	位相差⑥	位相差⑦	位相差⑧
比較例1	3.5	44.8	9.8	17.8	28.0	32.2	36.2	39.1	50.3	58.1
	4.5	38.9	8.6	15.1	25.9	29.7	33.4	36.1	46.4	53.6
	5.5	33.5	7.5	12.7	23.9	27.4	30.8	33.2	42.7	49.2
	6.5	28.6	6.5	10.6	22.0	25.2	28.3	30.4	39.1	45.1
比較例2	7.5	24.1	5.7	8.8	20.2	23.1	25.9	27.7	35.8	41.2
	8.5	20.1	5.0	7.3	18.5	21.1	23.7	25.2	32.6	37.5
	9.5	16.6	4.4	6.0	16.9	19.3	21.5	22.8	29.6	34.0
比較例3	10.5	13.4	3.9	4.9	15.4	17.5	19.5	20.6	26.7	30.7
	11.5	10.7	3.6	4.2	14.0	15.8	17.6	18.5	24.0	27.6
	12.5	8.4	3.3	3.6	12.6	14.3	15.9	16.5	21.5	24.6
比較例4	10.5	6.4	3.2	3.4	11.4	12.8	14.2	14.7	19.2	21.9
	11.5	4.9	3.2	3.3	10.2	11.5	12.7	13.0	17.0	19.4
	12.5	3.7	3.3	3.6	9.1	10.2	11.2	11.4	15.0	17.0

往路において液晶層で発生する位相差は観測角度 0° の場合、平均傾斜角 4.5° で 3.9 nm 、 7.5° で 11.0 nm 、 11.5° で 26.8 nm 、 14.5° で 44.2 nm となり、観測角度 45° の場合、平均傾斜角 4.5° で 38.9 nm 、 7.5° で 24.1 nm 、 11.5° で 10.7 nm 、 14.5° で 4.9 nm となる。従って、観測角度 0° の場合、平均傾斜角 4.5° で最適な位相差板は①、 7.5° では②、 11.5° では④、 14.5° では④となる。一方、観測角度 45° の場合、平均傾斜角 4.5° で最適な位相差板は⑥、 7.5° では④、 11.5° では③、 14.5° では②となる。

観測角度によって最適な位相差が大きく異なる場合、電圧無印加における液晶層の位相差が大きい方を優先して位相差板を選択しないと、特定角度で光もれが大きくなり、コントラスト特性を大きく損なうことになる。従って、平均傾斜角 4.5° で最適な位相差板は⑥、 7.5° では④、 11.5° では③、 14.5° では④とするのが好ましい。実施形態としては、平均傾斜角 4.5° で最適な位相差板は⑦、 7.5° では⑥、 11.5° では④、 14.5° では③もしくは⑤としているため、最適な位相差板が各々ずれていることが判る。

従って、平均傾斜角 4.5° では基板面内方向に 3 nm 、基板鉛直方向に 195 nm の位相差を有する位相差板（比較例1、住友化学社製、 n_x 係数 $=102$ ）を、 7.5° 及び 14.5° では基板面内方向に 3 nm 、基板鉛直方向に 155 nm の位相差を有する位相差板（比較例2、4、住友化学社製、 n_x 係数 $=102$ ）を、 11.5° では基板面内方向に 3 nm 、基板鉛直方向に 133 nm の位相差を有する位相差板（比較例3、住友化学社製、 n_x 係数 $=102$ ）をそれぞれ補償板として用いる。

各サンプル及び各比較例で作製した反射型液晶表示装置は拡散光源を用いて、観測方位 90° 、観測角度 0° 及び 45° で全白全黒表示におけるコントラスト比を測定した。その結果を表6、表7に示す。サンプル1～4ではいずれの観測角度でもコントラスト比は略25以上（但し、平均傾斜角 14.5° では観測角度 45° を優先させているため、観測角度 0° におけるコントラスト比は20となる。）であり、略全ての角度に対して良好なコントラスト特性を示している。一方、比較例1～4では観測角度 45° でコントラスト比は略22以下となり、実施例に比較して略15%コントラスト比が低下している。これは、比較例では最適な位相差の見積りが略15%ずれているためである。

【表6】

サンプル1~4のコントラスト比

観測角度	実施例1 4.5°	実施例2 7.5°	実施例3 11.5°	実施例4 14.5°
0°	27	25	25	20
45°	26	25	25	26

【表7】

比較例1~4のコントラスト比

観測角度	従来例1 4.5°	従来例2 7.5°	従来例3 11.5°	従来例4 14.5°
0°	27	25	25	22
45°	22	21	21	22

以上説明したように、本実施形態によれば、視角依存が少なく、かつコントラスト比の高い表示が得られるため、室内環境のように比較的暗い場所でも見やすい表示となる。これにより反射型液晶表示装置の適用範囲が更に広がり、市場拡大に多大に貢献する。

(第3の実施形態)

図16は、偏光板単体の構成と測定方法を示す斜視図である。ここで便宜上、図16では反射板と偏光板のみ図示する。

反射板上に偏光板（住友化学社製）を吸収軸が0°方位（透過軸が90°方位）となるよう配置し、30°入射で方位角を振って反射強度を測定した。ここで反射板はガラス基板上にレジスト（シプレー社製）を用いて凹凸を形成し、その表面にアルミ膜を蒸着したものである。なお、偏光板による方位角特性をみるため、反凹凸の傾斜面が無作為な方位に向いた無指向性反射板とした。

図17は偏光板単体の方位角特性を示す特性図である。

偏光板の吸光特性から吸収軸方位で反射強度極小、透過軸方位で反射強度極大となっている。

一方、図18は偏光板+λ/4の構成と測定方法を示す斜視図である。ここで便宜上、図18では反射板、λ/4板及び偏光板のみ図示する。

可視光波長の $1/4$ の波長を有する位相差板（住友化学社製、低波長分散フィルム、面内位相差 138 nm ）を、遅相軸と吸収軸のなす角が 45° になるように偏光板と反射板との間に配置し、 30° 入射 0° 受光で方位角を振って反射強度を測定した。

図 19 は偏光板 $+\lambda/4$ の方位角特性を示す特性図である。

本来、位相差板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角が 45° となるよう配置されていれば、透過軸方位から入射した直線偏光は 90° 回転して偏光板吸収軸と平行になるため、透過軸方位と吸収軸方位で反射強度極小となるはずである。しかし、実際はそれぞれの方位から略 -15° ずれた方位で反射強度極小となっている。

図 20 は、図 18 と同様の構成において入射角と方位角を振って反射強度を測定し、入射角毎の方位角特性を示す特性図である。

$\theta_1 = 10^\circ$ までは方位ずれによる反射強度の増加は小さいが、 θ_1 がそれより大きくなると方位ずれによる反射強度の増加が大きくなり、CR が低下してしまう。これは入射角が大きくなると位相差のずれが大きくなり、偏光方位が 90° 回転からずれてゆくためである。

図 21 は、図 18 と同様の構成において観測方位を 270° に固定し、入射角と軸配置の回転角を振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

ここで、観測方位を 270° に固定したのは観測方位すなわち反射凹凸により反射強度大となる方位（指向性方位）を 90° と 270° 方位とし、その方位において、反射強度が極小となる軸配置の回転角を求めるためである。一方、偏光方位のずれと逆方位に $+15^\circ$ 軸配置を回転させると、偏光方位のずれ分オフセットがかかるので、偏光方位は偏光板吸収軸と略平行となり、全ての入射角範囲において反射強度が極小となる。但し、 0° 以上 25° 以下であれば、回転前に比べて反射強度は小さくなっており、改善効果が期待できる。

図 22 は、図 18 の構成から軸配置を $+15^\circ$ 回転させ、 30° 入射で方位角を振って反射強度を測定した場合の方位角特性を示す特性図である。

ここでは、軸配置を $+15^\circ$ 回転させることにより指向性方位で反射強度極小となっている。

図 23 は、図 22 と同様にしてコントラスト比（CR）を測定し、その方位角特性を示す特性図である。

軸配置を $+15^\circ$ 回転させると透過軸方位は指向性方位から $+15^\circ$ ずれるため、白表示の反射強度は幾分低下するが、低下比率は僅かであり、指向性方位でコントラスト比は極大となっている。従って、偏光板及び基板面内方向に可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する位相差板を、反射強度極大となる方位 ϕ と偏光板吸収軸 P のなす角が略 65° 以上 90° 以下、位相差板遅相軸 F_1 と P のなす角が略 45° となるよう配置

すれば、指向性方位でコントラスト比が改善して、見やすい表示が実現できる。ここで ϕ とPのなす角を 65° 以上 90° 以下としたのは、実施形態としては 75° が最適であるが、この範囲であれば回転前に比べて反射強度が小さくなり、改善効果が期待できるからである。

図24は、可視光波長の $\lambda/4$ を有する位相差板を、遅相軸と吸収軸のなす角が 135° になるように偏光板と反射板の間に配置し、 30° 入射 0° 受光で方位角を振って反射強度を測定した場合の方位角特性を示す特性図である。

遅相軸と吸収軸のなす角が 135° になると、偏光方位は 45° の場合と逆方位にずれるため、それぞれの方位から $+15^\circ$ ずれた方位で反射強度極小となっている。そこで、軸配置を -15° 回転させれば指向性方位で反射強度極小となる。

図25は、観測方位を 270° に固定し、入射角と軸配置の回転角を振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

ずれと逆方位に -15° 軸配置を回転させればもれ光は極小となり、 -25° 以上 0° 以下の範囲であれば回転前に比べて反射強度は小さくなり、改善効果が期待できる。従って、偏光板及び基板面内方向に可視光波長の略 $1/4$ の位相差を有する位相差板を、反射強度極大となる方位 ϕ と偏光板吸収軸Pのなす角が略 90° 以上 115° 以下、位相差板遅相軸 F_1 とPのなす角が略 135° となるよう配置すれば、指向性方位でコントラスト比は改善して表示が見やすくなる。ここで ϕ とPのなす角を 90° 以上 115° 以下としたのは、実施形態としては 105° が最適であるが、この範囲であれば軸回転前に比べて反射強度は小さくなり、改善効果が期待できるからである。

図26は、偏光板+広帯域 $\lambda/4$ の構成と測定方法を示す斜視図である。ここで便宜上、図26では反射板、 $\lambda/4$ 板、 $\lambda/2$ 板及び偏光板のみ図示する。

$\lambda/2$ 板の遅相軸と偏光板吸収軸のなす角を $0^\circ \sim 25^\circ$ となるようにそれぞれを配置し、 30° 入射で方位角を振って反射強度を測定した。ここで、広帯域 $\lambda/4$ とは、略 $\lambda/4$ の位相差を有する第1の位相差板（住友化学社製：面内位相差 $128\text{ nm} \sim 138\text{ nm}$ ）と可視光波長の略 $\lambda/2$ の位相差を有する第2の位相差板（住友化学社製：面内位相差 $265\text{ nm} \sim 280\text{ nm}$ ）とを積層したものである。

図27は、 $\lambda/2$ 板と $\lambda/4$ 板の組み合わせ毎に $\lambda/2$ 板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角を変化させ、 270° 方位で反射強度がどのように変化するかを示す特性図である。

275 nm と 138 nm の組み合わせでは、 $\lambda/2$ 板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角を 5° にすることにより指向性方位で反射強度が極小となる。ここで、 $\lambda/4$ 板の軸配置について言及していないが、透過軸方位から入射した直線偏光が $\lambda/2$ 板を対称軸にして偏光方位を回転し、その方位が $\lambda/4$ 板遅相軸に対して 45° もしくは 135° となるよう $\lambda/4$ 板を配置すればよい。例えば、 $\lambda/2$ 板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角が 10° の場合、 $\lambda/4$ 板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角は 65° もしくは 15

5°となる。一方、265nmと138nm、275nmと148nmの組み合わせでは、 $\lambda/2$ 板遅相軸と偏光板吸収軸のなす角が10°で反射強度が極小となり、用いる位相差板の組み合わせにより最適な角度は異なっている。但し、0°~20°であれば、 $\lambda/4$ 板単体に比べて反射強度が小さくなっており、改善効果が期待できる。

従って、この位相差板を可視光波長の略1/4の位相差を有する第1の位相差板と、略1/2の位相差を有する第2の位相差板で構成し、第2の位相差板遅相軸 F_{12} と偏光板吸収軸Pとのなす角が略0°以上20°以下、第1の位相差板遅相軸 F_{11} と F_{12} とのなす角が略45°以上65°以下（合成ベクトルの遅相軸を略45°とする場合）、もしくは135°以上155°以下（合成ベクトルの遅相軸を略135°とする場合）となるように配置すれば、指向性方位でコントラスト比が改善して表示が見やすくなる。ここで F_{12} と吸収軸Pとのなす角を0°~20°としたのは、用いる位相差板の位相差が10nm程度ずれると最適角度の範囲は5°程度ずれ、この範囲内であれば、 $\lambda/4$ 板単体に比べて反射強度が小さくなっており、改善効果が期待できるからである。

図28は、一軸延伸フィルムを積層した場合の軸配置を示す斜視図である。

ここで用いた一軸延伸フィルムは、138nmの面内位相差を有する $\lambda/4$ 板（住友化学社製）であり、基板鉛直方向に60nm~90nmの位相差を有している。

図29は、偏光板+ $\lambda/4$ +補償板の構成と測定方法を示す斜視図である。

補償板として $\lambda/4$ 板をその遅相軸が0°と90°になるように積層配置し、30°入射で方位角を振って反射強度を測定した。また、比較例として面内位相差が2nm~3nm、基板鉛直方向の位相差が150nmである二軸延伸フィルム（住友化学社製）を補償板に用いたものと補償板を用いないものについても同様に測定した。

図30は、補償板毎の方位角特性を示す特性図である。

一軸延伸フィルムを補償板として用いた場合、遅相軸と異なる方位では光もれが大きく、遅相軸方位すなわち指向性方位では反射強度極小となって、二軸延伸された位相差板と同等の補償効果を示している。反射凹凸により指向性方位以外の反射強度を小さくすれば、もれ光は目立たなくなる。

図31は、観測方位を270°に固定し、入射角及び一軸延伸フィルムの遅相軸と指向性方位のなす角を振って反射強度を測定した場合の入射角特性を示す特性図である。

なす角が0°で反射強度極小となるが、30°までであれば補償なしの場合に比べて改善効果が期待できる。従って、該位相差板より液晶層側に基板鉛直方向及び基板面内方向に位相差を有する他の位相差板を、反射強度極大となる方位 ϕ と少なくとも一方の位相差板遅相軸 F_2 のなす角が略0°以上30°以下となるように積層して配置すれば、斜め入射による液晶層の位相差をキャンセルできるため指向性方位でコントラスト比が改善して表示が見やすくなる。ここで該位相差板を液晶層側に配置するのは、

液晶層の位相差を他の位相差板の影響を受けずにキャンセルするためであり、 ϕ と F_2 のなす角を 0° 以上 30° 以下とするのは、実施形態としては 0° が最適であるが、 0° 以上 30° 以下の範囲であれば指向性方位でコントラスト比の改善が期待できるからである。

図 3 2 は、反射凹凸が形成されていない基板側の液晶配向を指向性方位に対して $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で振り、図 3 1 と同様に極角方向の反射強度を測定した結果を示す特性図である。

液晶の配向方位と指向性方位とのなす角が 90° で反射強度が極小となるが、 45° 以上であれば平行配向の場合と比べて十分な改善効果が期待できる。

図 3 3 は、本実施形態で用いた指向性反射板の平面形状を示す模式図である。

指向性反射板は、ガラス基板上にレジストを用いて突起状に連続した凹凸を形成し、その表面にアルミ膜を蒸着したものである。反射凹凸の傾斜面は略指向性方位 (90° 方位と 270° 方位) に向いており、この方位で反射強度極大となる。反射凹凸は導電突起として作用するため、液晶が初期傾斜する方位と斜め電界により傾斜配向する方位は逆になり、液晶は指向性方位と略 90° 異なる方位に配向する。指向性反射板と無指向性反射板を用いて反射型液晶表示素子を作製した。ここでラビング処理は対向基板のみ 0° 方位に行い、負の誘電率異方性を有する液晶 (メルク社製) を注入した。

図 2 9 に示した構成で偏光板、位相差板、反射型液晶素子を積層配置し、指向性方位かつ 30° 入射でコントラスト比を測定した。指向性反射板を用いた反射型液晶表示装置のコントラスト比は無指向性反射板を用いたその略 1.5 倍となった。指向性反射板を用いた反射型液晶表示装置では反射凹凸により液晶が傾斜配向する方位とラビングにより液晶が傾斜配向する方位が 90° 異なっているため、初期配向した液晶の位相差がキャンセルされるのに対し、無指向性反射板を用いたそれでは反射凹凸により液晶が傾斜配向する方位がランダムとなるため、初期配向した液晶の位相差はキャンセルされない。これがコントラスト比に大きく影響している。

また、 $\lambda/4$ 板を外して配向観察を行ったところ、指向性反射板を用いた反射型液晶表示装置は配向方位が略同じ方位を向いているのに対し、無指向性反射板を用いたそれでは ϕ ぶれと呼ばれる配向方位のぶれが発生していた。これは指向性反射板により配向規制力が発生し、配向安定性が向上したことを示している。

図 3 4 は、本実施形態で用いたスリット付き指向性反射板の平面形状を示す模式図である。

指向性反射板はガラス基板上に透明樹脂 (J S R 社製) を用いて突起状に連続した凹凸を形成し、凹部に幅 $3\mu\text{m}$ のスリットを残してアルミ膜を蒸着したものである。ここでスリットを凹部に形成するのは、この領域では反射強度が低く、かつ透過領域

に必要なセル厚を稼げるからであり、スリット幅を $3\mu\text{m}$ とするのは斜め電界が発生する領域を狭くして、液晶が傾斜面と垂直方位に配向しないようにするためである。

スリット付き指向性反射板を用いて反射型透過型液晶表示装置を作製した。ここでラビング処理は対向基板のみ 0° 方位に行い、負の誘電率異方性を有する液晶を注入した。 $\lambda/4$ 板を外して配向観察を行ったところ、スリット上及びその近傍の配向方位は略同じ方位を向いており、指向性反射板にスリットを形成しても ϕ ぶれは発生しなかった。

以上説明したように、本実施形態による反射型液晶表示装置では、反射凹凸により反射強度極大となる方位でコントラストを極大にできるため、室内環境の如く特定方位から光が入射する場合でも、見易い表示が実現できる。

(第4の実施形態)

以下、第4の実施形態を図面を用いて詳細に説明する。

図35Aは偏光板+ $\lambda/4$ 板の反射率方位依存を示す特性図であり、図35Bは偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板の反射率方位依存を示す特性図である。反射率は 30° 入射、 0° 受光（基板法線）の値であり、反射板は反射強度に方位異方性がない無指向性反射板を用いた。図35Aでは、偏光板（住友化学製）の吸収軸を 0° 、 $\lambda/4$ 板（面内位相差 138nm 、厚さ位相差 53nm 、積水化学製）の遅相軸を 45° に配置し、図35Bでは、偏光板の吸収軸を 0° 、 $\lambda/2$ 板（面内位相差 275nm 、厚さ位相差 130nm （積水化学製））の遅相軸を 10° 、 $\lambda/4$ 板の遅相軸を 65° に配置した。

また、波長分散も厚さ方向の位相差もない $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板、波長分散はあるが厚さ方向の位相差がない $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板をそれぞれ設定し、計算により反射率方位依存を求めた。図35A、Bから、（1）反射率は位相差板の軸方位、波長分散、厚さ方向の位相差（ R_{th} ）で増加すること、（2）広帯域 $\lambda/4$ 板は波長分散が小さく、 R_{th} により反射率極小となる方位が偏光軸方位からずれることが判る。軸方位による反射率増加は複屈折性を示さなくなることにより、波長分散による反射率増加は 550nm 以外の波長では位相差が $\lambda/4$ からずれることにより、 R_{th} による反射率増加は負の位相差が付加されることにより発生する。 R_{th} を有する位相差板と R_{th} を有しない位相差板との差分が R_{th} による反射率増加であり、方位によって R_{th} は異なっている。

図36は、本実施形態で用いた反射板の平面形状を示す概略平面図である。

図36Aに、傾斜面が全方位に向いたドット状の反射凹凸51が画素電極上に形成されてなる無指向性反射板を、図36Bに、傾斜面が上下（ 90° と 270° ）方位に向いた階段状の反射凹凸52が画素電極上に形成されてなる指向性反射板をそれぞれ示す。

図37は、反射板の反射率方位依存を示す特性図である。

無指向性反射板では、全方位で均一な反射率を示しているのに対して、指向性反射板では、指向性（90°）方位で2倍、非指向性方位（0°と180°）で6割の反射率となっている。

図38は、 $\lambda/4$ 板の面内位相差を109nm～148nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存を、各反射板毎（A：無指向性反射板、B：指向性反射板）に示す特性図である。

ここで、液晶層は基板を直径3 μ mのマイクロパルスパーサ（積水ファインケミカル製）を介して貼り合せ、基板間にネガ型液晶（ $\Delta n=0.0995$ 、メルク社製）を注入して作製したものであり、電圧無印加にしている。また、指向性方位で反射率極小となるように軸配置を全体的に左に30°回転させ、偏光板の吸収軸を30°としている。光学補償板がない場合、 $\lambda/4$ 板の位相差を小さく（好ましくは110nm～120nm程度に）すれば指向性方位で R_{th} が大きくなり、液晶層の位相差がその分補償されて反射率が低下する。逆に非指向性方位では R_{th} が小さくなって反射率は増加するが、指向性反射板を適用すれば位相差板変更前の反射率と変わらなくできる。

図39は、 $\lambda/2$ 板の面内位相差を267nm～317nmの間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存を、各反射板毎（A：無指向性反射板、B：指向性反射板）に示す特性図である。

$\lambda/2$ 板の面内位相差を大きく（好ましくは300nm～320nm程度に）すれば指向性方位で R_{th} が大きくなり、液晶層の位相差がその分補償されて反射率が低下する。

図40は、 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板の両方の面内位相差を可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+液晶層の反射率方位依存を、指向性反射板について示す特性図である。
 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板の両方の面内位相差を変化させても指向性方位の反射率は低下する。但し、個々に変化させた場合の方が非指向性方位の反射率増加が少なくなっている。

以上の説明から、光学補償板がない場合、 $\lambda/4$ 板の該当波長を小さく、 $\lambda/2$ 板の該当波長を大きくすれば、指向性方位で反射率が低下してコントラスト比を高くできる。ここで、 $\lambda/4$ 板の該当波長は440nm～480nm程度、 $\lambda/2$ 板の該当波長は600nm～640nm程度が好ましく、各波長板の該当波長は200nm未満の範囲で異ならせるのがよい。

図41は、偏光板の反射率方位依存を各極角毎に示す特性図である。

ここで偏光板の吸収軸方位は0°、180°としているが、偏光板の吸光特性として吸収軸方位で反射率が低くなることが判る。本実施形態では、偏光板の透過軸方位を

反射強度極大となる指向性方位と平行もしくはそれに近い角度範囲に配置しているが、偏光板の吸収軸方位を指向性方位と平行もしくはそれに近い角度範囲に配置すると、白表示における反射率も低下してしまう。即ち、偏光板と広帯域 $\lambda/4$ 板を本実施形態の軸配置から 90° 回転させれば、各波長板の大小関係は逆転するが、この軸配置では指向性方位で白表示における反射率が低下し、コントラスト比はさほど改善しなくなる。

図 4 2 は、 $\lambda/4$ 板の面内位相差を $128\text{ nm} \sim 159\text{ nm}$ の間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存を、各反射板毎（A 無指向性反射板、B 指向性反射板）に示す特性図である。

ここで、偏光板の吸収軸は 0° 、 $\lambda/2$ 板の遅相軸は 10° 、 $\lambda/4$ 板の遅相軸は 65° 、光学補償板（面内位相差 2 nm 、厚さ位相差 150 nm 、住友化学社製）の遅相軸を 65° に配置した。図 4 5 の構成では、光学補償板がない場合のように軸配置を回転させていない。これは、液晶層に位相差が残っていると、厚さ方向に正の位相差が発生するため反射率極小となる方位が偏光軸方位からずれるが、液晶層の正の R_{th} を光学補償板の負の R_{th} で概ねキャンセルすると方位ずれが発生しなくなるからである。

光学補償板があり、液晶層の位相差を光学補償板で概ねキャンセルする場合、偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板の反射率方位依存が反映されるため、 $\lambda/4$ 板の位相差を大きく（好ましくは 150 nm 程度に）すれば指向性方位で R_{th} が小さくなり、反射率が低下する。逆に非指向性方位では R_{th} が大きくなって反射率は増加するが、指向性反射板を適用すれば位相差板変更前のそれと変わらなくできる。

図 4 3 は、 $\lambda/2$ 板の面内位相差を $240\text{ nm} \sim 285\text{ nm}$ の間で可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存を、各反射板毎（A 無指向性反射板、B 指向性反射板）に示す特性図である。

$\lambda/2$ 板の面内位相差を小さく（好ましくは $240\text{ nm} \sim 260\text{ nm}$ 程度に）すれば指向性方位で R_{th} が小さくなり、反射率が低下する。

図 4 4 は、 $\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板の両方の面内位相差を可変とした場合の偏光板+広帯域 $\lambda/4$ 板+光学補償板+液晶層の反射率方位依存を、指向性反射板について示す特性図である。

$\lambda/4$ 板と $\lambda/2$ 板の両方の面内位相差を変化させると指向性方位の反射率は増加するため、個々に変化させるべきである。

以上の説明から、光学補償板がある場合、 $\lambda/4$ 板の該当波長を大きく、 $\lambda/2$ 板の該当波長を小さくすれば、指向性方位で反射率が低下してコントラスト比を高くできる。ここで、 $\lambda/4$ 板の該当波長は 600 nm 程度、 $\lambda/2$ 板の該当波長は $480\text{ nm} \sim 520\text{ nm}$ 程度が好ましく、各波長板の該当波長は 70 nm 未満の範囲で異ならせ

るのがよい。

$\lambda/4$ 板を直交配置で積層したものを光学補償板に用いた場合も上記と同様になる。すなわち、偏光板の吸収軸を 0° 、他の（第2の） $\lambda/2$ 板の遅相軸を 10° 、（第1の） $\lambda/2$ 板の遅相軸を 65° 、 $\lambda/4$ 板の遅相軸を 155° に配置し、の $\lambda/2$ 板の位相差を大きく、他の $\lambda/2$ 板の位相差を小さくすれば、指向性方位で反射率が低下してコントラスト比を高くできる。ここで、 $\lambda/2$ 板の位相差は光学補償板の $\lambda/4$ 板を含むため 290 nm 程度、該当波長では 580 nm 程度、他の $\lambda/2$ 板の位相差は $240\text{ nm} \sim 260\text{ nm}$ 程度、該当波長では $480\text{ nm} \sim 520\text{ nm}$ 程度が好ましく、各波長板の該当波長は 70 nm 未満の範囲で異ならせるのがよい。

以上説明したように、本実施形態による反射型液晶表示装置では、反射凹凸により反射強度極大となる方位でコントラストを高くすることができるため、室内環境のように特定方位から光が入射する場合でも、見やすい表示が実現できる。

【特許請求の範囲】(What is claimed is:)

1. 入射光を反射させる反射層と、
前記反射層上に設けられた液晶層と、
前記液晶層の前面に設けられた光学補償板と
を含み、
前記光学補償板は、前記液晶層に近い側から、第1の位相差板、第2の位相差板及び偏光板の積層構造を有してなり、
前記第1及び第2の位相差板は、それぞれ一軸異方性を有しており、両者の重ね合わせにより1/4波長板の機能と負の位相差板の機能とを合成的に生成することを特徴とする液晶表示装置。
2. 前記光学補償板は、前記第2の位相差板上に1/2波長板を更に有することを特徴とする請求項1に記載の液晶表示装置。
3. 前記偏光板の吸収軸と前記第2の位相差板の光軸とのなす角が略45°であり、
前記第2の位相差板の面内位相差と前記第1の位相差板の面内位相差との差が1/4波長とされており、
前記第2の位相差板の光軸と前記第1の位相差板の光軸とが略直交することを特徴とする請求項1に記載の液晶表示装置。
4. 前記第1の位相差板の面に垂直な方向の位相差と前記液晶層の位相差との差が0nm以上200nm以下であることを特徴とする請求項3に記載の液晶表示装置。
5. 前記1/2波長板の光軸と前記偏光板の吸収軸とのなす角を θ として、前記1/2波長板の光軸と前記第2の位相差板の光軸とのなす角が略 $\theta \pm 45^\circ$ であり、
前記第2の位相差板の面内位相差と前記第1の位相差板の面内位相差との差が1/4波長とされており、
前記第2の位相差板の光軸と前記第1の位相差板の光軸とが略直交することを特徴とする請求項2に記載の液晶表示装置。
6. 前記第1及び第2の位相差板の面に垂直な方向の位相差の和と前記液晶層位相差との差が0nm以上200nm以下であることを特徴とする請求項5に記載の液晶表示装置。
7. 前記偏光板の吸収軸が前記液晶層の液晶分子の配向方向又は電圧印加時における前記液晶層の液晶分子の傾斜方向に対して5°以上30°以下の角度をなすことを特徴とする請求項3に記載の液晶表示装置。
8. 前記第1の位相差板の面内位相差が1/4波長であることを特徴とする請求項3に記載の液晶表示装置。
9. 前記第1の位相差板の面内位相差が100nm以上180nm以下であり、前記第2の位相差板の面内位相差が200nm以上360nm以下であることを特徴とする請求項8に記載の液晶表示装置。
10. 前記液晶層の配向がねじれネマチック配向又は垂直配向であることを特徴とする請求項1に記載の液晶表示装置。
11. 入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、
前記液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板と
を含み、

前記反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略4°以上6°以下の値であるとともに、

前記位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が0.6以上0.9以下の値であることを特徴とする液晶表示装置。

12. 入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、
前記液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板と
を含み、

前記反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が略7°以上9°以下の値であるとともに、

前記位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が0.5以上0.8以下の値であることを特徴とする液晶表示装置。

13. 入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、
前記液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板と
を含み、

前記反射層は、表面に凹凸が形成されており、前記凹凸の平均傾斜角が10°以上15°以下の値であるとともに、

前記位相差板は、表面に対する鉛直方向に負の屈折率異方性を有し、その位相差 R_f と液晶層の位相差 R_{lc} との比 R_f/R_{lc} が0.4以上0.7以下の値であることを特徴とする液晶表示装置。

14. 前記位相差板のx方向、y方向、z方向の屈折率をそれぞれ n_x 、 n_y 、 n_z とし、 n_z 係数を以下のように定義した場合、

$$n_z = (n_x - n_y) / (n_x + n_y)$$

前記位相差板の n_z 係数が1以下であることを特徴とする請求項11に記載の液晶表示装置。

15. 前記位相差板は、複数枚の一軸延伸フィルムが積層されてなり、各一軸延伸フィルムの遅相軸が略直交するように積層配置されてなることを特徴とする請求項11に記載の液晶表示装置。

16. 前記液晶層の液晶分子は、負の誘電率異方性を有することを特徴とする請求項11に記載の液晶表示装置。

17. 反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、

前記液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板と
を含み、

前記位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有しており、反射強度が極大となる方位 ϕ と前記偏光板の吸収軸 P とのなす角が 65° 以上 90° 以下の値であり、当該位相差板の遅相軸 F_1 と吸収軸 P とのなす角が略 45° となるように配置されていることを特徴とする液晶表示装置。

18. 前記位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有する第1の位相差板と、面内方向に可視光波長の $1/2$ の位相差を有する第2の位相差板とを有して構成されてなり、

前記第2の位相差板の遅相軸 F_{12} と吸収軸 P とのなす角が 0° 以上 20° 以下であるとともに、

前記第1の位相差板の遅相軸 F_{11} と遅相軸 F_{12} とのなす角が 45° 以上 65° 以下であることを特徴とする請求項17に記載の液晶表示装置。

19. 反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられ、前記反射層上に設けられた液晶層と、

前記液晶層の前面に設けられた位相差板及び偏光板と
を含み、

前記位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有しており、反射強度が極大となる方位 ϕ と前記偏光板の吸収軸 P とのなす角が 90° 以上 115° 以下の値であり、当該位相差板の遅相軸 F_1 と吸収軸 P とのなす角が略 135° となるように配置されていることを特徴とする液晶表示装置。

20. 前記位相差板は、面内方向に可視光波長の $1/4$ の位相差を有する第1の位相差板と、面内方向に可視光波長の $1/2$ の位相差を有する第2の位相差板とを有して構成されてなり、

前記第2の位相差板の遅相軸 F_{12} と吸収軸 P とのなす角が 0° 以上 20° 以下であるとともに、

前記第1の位相差板の遅相軸 F_{11} と遅相軸 F_{12} とのなす角が 135° 以上 155° 以下であることを特徴とする請求項19に記載の液晶表示装置。

21. 表面に対する鉛直方向及び面内方向にそれぞれ位相差を有する他の位相差板を有しており、

前記他の位相差板は、反射強度が極大となる方位 ϕ と、前記位相差板及び当該他の位相差板の少なくとも一方の遅相軸 F_2 とのなす角が 0° 以上 30° 以下となるように、前記位相差板よりも前記液晶層側に配置されていることを特徴とする請求項17に記載の液晶表示装置。

22. 反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられた液晶層と
を含み、

前記液晶層の液晶分子を、反射強度が極大となる方位 ϕ と当該液晶分子のダイレクタ方位 ψ とのなす角が 45° 以上 90° 以下となるように配向させることを特徴とする液晶表示装置。

23. 前記凹凸を用いて、前記液晶層の液晶分子を、反射強度が極大となる方位 ϕ と当該液晶分子のダイレクタ方位 ψ とのなす角が 45° 以上 90° 以下となるように配向させることを特徴とする請求項 22 に記載の液晶表示装置。

24. 画素電極上にスリットが形成されており、

前記スリットを用いて、前記液晶層の液晶分子を、反射強度が極大となる方位 ϕ と当該液晶分子のダイレクタ方位 ψ とのなす角が 45° 以上 90° 以下となるように配向させることを特徴とする請求項 22 に記載の液晶表示装置。

25. 前記液晶層の液晶分子は、負の誘電率異方性を有することを特徴とする請求項 17 に記載の液晶表示装置。

26. 反射強度について方位異方性を有する凹凸が表面に形成され、入射光を反射させる反射層と、

前記反射層上に設けられ、液晶分子の配向が垂直配向である液晶層と、

前記液晶層の前面に順次設けられた $1/4$ 波長板、 $1/2$ 波長板及び偏光板とを含み、

前記 $1/4$ 波長板及び前記 $1/2$ 波長板の各該当波長を異ならせ、反射強度が極大となる方位において斜め入射又は斜め出射により前記 $1/4$ 波長板、前記 $1/2$ 波長板及び前記液晶層により発生する位相差を、反射強度が極小となる方位の前記位相差よりも小さくすることを特徴とする液晶表示装置。

27. 前記 $1/4$ 波長板及び前記 $1/2$ 波長板の前記各該当波長を、 20 nm 以上 200 nm 以下の値だけ異ならせることを特徴とする請求項 26 に記載の液晶表示装置。

28. 前記 $1/4$ 波長板の前記該当波長を前記 $1/2$ 波長板の前記該当波長よりも小さくすることを特徴とする請求項 26 に記載の液晶表示装置。

29. 前記液晶層と前記 $1/4$ 波長板との間に負の位相差板を有してなり、

前記 $1/4$ 波長板の前記該当波長を前記 $1/2$ 波長板の前記該当波長よりも大きくすることを特徴とする請求項 26 に記載の液晶表示装置。

30. 前記 $1/2$ 波長板と前記偏光板との間に他の $1/2$ 波長板を有してなり、

前記 $1/4$ 波長板と前記 $1/2$ 波長板との遅相軸を略直交させるとともに、前記 $1/2$ 波長板の前記該当波長を前記他の $1/2$ 波長板の前記該当波長よりも大きくすることを特徴とする請求項 26 に記載の液晶表示装置。

【開示の要約】 (Abstract of the Disclosure)

本発明の液晶表示装置は、液晶層 10 側から、 $\lambda/4$ 板 1、 $\lambda/2$ 板 2、及び偏光板 3 がこの順に設けられてなる。ここで、偏光板 3 の吸収軸と $\lambda/2$ 板 2 の吸収軸とのなす角が略 45° であり、 $\lambda/2$ 板 2 の面内位相差は位相差板 1、望ましくは $\lambda/4$ 板 1 の面内位相差に $\lambda/4$ を加えた値とされており、 $\lambda/4$ 板 1 の光軸と $\lambda/2$ 板 2 の光軸は直交している。ここでは、 $\lambda/4$ 板 1 の光軸が 150° 、 $\lambda/2$ 板 2 の光軸が 60° 、偏光板 3 の吸収軸が 15° とされている。この構成により、表示特性の向上、即ち明るくコントラスト比が高いとともに、視野角が広く、視野依存が少ない表示を行い、室内環境のように比較的暗い場所でも極めて見易い優れた反射型の液晶表示装置が実現する。